



FEUC FACULDADE DE ECONOMIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Bárbara Marisa Moreira Gomes

# Consumo energético e crescimento económico: que relação é possível estabelecer? Análise para um painel de países da UE

Trabalho de projeto de Mestrado em Economia, na especialidade de Economia Industrial, apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre

**Trabalho de projeto orientado por:**

Professora Doutora Micaela Andreia Alegria Antunes

**Coimbra 2017**

## **Agradecimentos**

Terminada mais uma etapa, quero agradecer e dedicar este trabalho a todos aqueles que me apoiaram, que acreditaram em mim e me acompanharam nesta fase tão importante e especial da minha vida. Sem eles a realização deste trabalho não seria possível.

Quero agradecer à minha orientadora, a professora Micaela Andreia Alegria Antunes, por ter sido incansável, sempre motivada e dedicada na orientação do trabalho. Por tudo o que aprendi com ela e por toda a paciência e disponibilidade demonstrada. Seria impossível realizar este trabalho sem a sua ajuda e os seus conselhos.

Quero agradecer à minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e sacrifícios demonstrados ao longo destes anos, por me terem dado a possibilidade de chegar até aqui e ser o que sou hoje.

Por último, mas não menos importantes, quero agradecer aos meus amigos pelo apoio incondicional, por estarem sempre presentes, pelos bons momentos que me proporcionaram e pela paciência e preocupação demonstrados, principalmente, nesta fase final.

A todos,

Muito obrigada!

## Resumo

Tomando em linha de conta a crescente importância do consumo de energia verificado nas últimas décadas, torna-se relevante averiguar se é possível estabelecer uma ligação entre esse consumo crescente e o crescimento económico, principalmente no âmbito de economias desenvolvidas. Este estudo prende-se com o objetivo de analisar a relação entre consumo de energia e crescimento económico tendo em conta outros fatores, como o nível inicial do produto *per capita*, o capital físico e humano e o comércio externo. Analisa-se a importância que estas variáveis têm no crescimento económico em catorze países da União Europeia (UE), para o período compreendido entre 1986 a 2013, estimando equações de convergência em painel pelo método GMM (Método dos Momentos Generalizados), dada a presença de endogeneidade das variáveis explicativas. Para além das variáveis habitualmente usadas e consideradas nos modelos de crescimento económico de base neoclássica, acrescentamos, para além de *proxies* de capital humano e comércio externo, aquela que para nós é a variável de interesse, o consumo energético (que representamos por duas *proxies* alternativas, consumo de energia primária e emissões de dióxido de carbono, de acordo com a literatura sobre o tema).

Em termos gerais, concluímos pela existência de convergência condicional, que o capital físico e o comércio externo têm o tipo de impacto esperado de acordo com a teoria económica; quanto ao capital humano e consumo de energia, os resultados podem ser considerados inesperados à partida, embora igualmente justificáveis.

**Classificação JEL:** C23, C26, N14, O47, Q43

**Palavras-Chave:** Crescimento Económico, Consumo de Energia, GMM, Dados em painel, UE

## Abstract

Taking into account the growing importance of energy consumption in the last decades, it is relevant to ascertain whether it is possible to establish a link between this growing consumption and economic growth, especially in the context of developed economies. This study aims at analyzing the relationship between energy consumption and economic growth, taking into account other factors, such as the initial per capita product level, physical and human capital and external trade. It is analyzed the importance of these variables for economic growth in fourteen European Union (EU) countries, for the period 1986 to 2013, by estimating panel convergence equations by the GMM (Generalized Moments Method) method, given the presence of endogeneity of the explanatory variables. In addition to the variables commonly used and considered in neoclassical economic growth models, we have added, in addition to human capital and foreign trade *proxies*, our variable of interest, the energy consumption (which we represent by two alternative proxies, primary energy consumption and carbon dioxide emissions, according to the literature on the subject).

In general terms, we observe the existence of conditional convergence, that physical capital and external trade have expected kind of impact expected according to economic theory. With regard to human capital and energy consumption, the results can be considered to be unexpected at first, although justifiable.

**Jel Codes:** C23, C26, N14, O47, Q43

**Key words:** Economic Growth, Energy Consumption, GMM, Panel Data, EU

## **Acrónimos e Abreviaturas**

CCGP: Conselho de Cooperação do Golfo Pérsico

CE: Comunidade Europeia

CEE: Comunidade Económica Europeia

EPO: *European Patent Office*

EUA: Estados Unidos da América

FBCF: Formação Bruta de Capital Fixo

G7: Grupo das 7 economias mais avançadas do mundo

GMM: Método dos Momentos Generalizados (*Generalized Method of Moments*)

I&D: Investigação e Desenvolvimento

IUS: *Innovation Union Scoreboard*

PIB: Produto Interno Bruto

UE: União Europeia

VAR: *Vector autoregression*

VEC: *Vector error correction*

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

# Índice Geral

|   |     |
|---|-----|
| Resumo .....  | ii  |
| Abstract.....   | iii |
| Acrónimos e Abreviaturas .....  | iv  |
| 1. Introdução.....  | 1   |
| 2. Revisão da Literatura.....   | 2   |
| 2.1. Teoria neoclássica do crescimento.....                                 | 2   |
| 2.2. Modelos de crescimento endógeno .....                                  | 3   |
| 2.2.1. Capital humano e crescimento económico.....                          | 3   |
| 2.2.2. Comércio externo e crescimento económico .....                       | 4   |
| 2.2.3. Consumo de energia e crescimento económico .....                     | 5   |
| 3. Principais características das variáveis e análise da sua evolução ..... | 11  |
| 3.1. Dados .....  | 11  |
| 3.2. Análise da evolução das variáveis .....                                | 12  |
| 4. Metodologia.....   | 20  |
| 4.1. Descrição do modelo e método de estimação.....                         | 20  |
| 4.2. Estimacões e Resultados .....  | 23  |
| 5. Conclusão .....  | 25  |
| Referências Bibliográficas.....   | 28  |
| Anexos.....   | 33  |

## Índice de Quadros

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1: Aspectos-chave de alguns estudos sobre a relação entre crescimento económico e consumo de energia.....   | 10 |
| Quadro 2: Estatísticas Descritivas das variáveis, 1986 a 2013.....   | 12 |
| Quadro 3: O capital humano e consumo de energia para a UE-14, 1986 a 2013.....                                     | 18 |
| Quadro 4: Matriz de correlação linear .....  | 19 |
| Quadro 5: Correlação linear entre o crescimento do produto <i>per capita</i> e cada uma das outras variáveis ..... | 20 |
| Quadro 6: Resultados para a UE-14, 1986 a 2013 .....   | 23 |
| Quadro I: Definição e fonte das variáveis .....  | 33 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Taxa de Crescimento do PIB <i>per capita</i> .....              | 12 |
| Figura 2: Patentes por milhão de habitantes ( <i>pat</i> ) .....          | 14 |
| Figura 3: Artigos publicados por milhão de habitantes ( <i>art</i> )..... | 15 |
| Figura 4: Consumo de energia primária ( <i>ce</i> ).....                  | 16 |
| Figura 5: Emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) .....                 | 17 |
| Figura A.1: Nível de rendimento <i>per capita</i> .....                   | 34 |
| Figura A.2: Taxa de crescimento anual da população.....                   | 34 |
| Figura A.3: Peso do capital físico no PIB .....                           | 35 |
| Figura A.4: Grau de Abertura.....   | 35 |

## 1. Introdução

São várias as correntes existentes relativamente às teorias de crescimento económico, nomeadamente a clássica (Adam Smith, David Ricardo, Thomas Malthus); a neoclássica (Solow); as de crescimento endógeno, especialmente as que realçam o papel do capital humano (Lucas e Romer); e a Keynesiana (Harrod-Domar, Kaldor), que enfatiza o papel da procura, nomeadamente externa, para o crescimento económico.

Vários fatores têm sido analisados no âmbito da questão de como elevar o crescimento económico de um país, principalmente o capital físico e humano, o comércio externo e, mais recentemente, tem vindo a ser dada especial atenção à relação entre o consumo de energia e o crescimento económico. É um tema que tem vindo a ser estudado em profundidade na literatura económica sobre energia, devido à importância que tem nas economias atuais, desde as pequenas economias em desenvolvimento às economias mais desenvolvidas.

Diversos são os estudos sobre a análise da relação entre o consumo de energia e o crescimento económico com o objetivo de perceber qual a relação entre estas variáveis. Kraft e Kraft (1978) foram os primeiros autores a mostrar interesse pelo estudo da economia da energia no contexto da conceção de políticas eficientes de conservação de energia para os EUA. Também para os EUA, posteriormente, foram outros os estudos que se seguiram: Akarca e Long (1980), Yu *et al.* (1988) e Yu Jin (1992) são alguns exemplos.

Os resultados apresentados na literatura económica sobre a relação entre o consumo energético e o crescimento económico diferem em virtude dos períodos temporais, das especificações consideradas e mesmo quanto às técnicas utilizadas.

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto que diversos fatores poderão ter sobre o crescimento económico de um conjunto de países. Para além do nível inicial de rendimento por habitante, pretendemos verificar de que forma o crescimento da população, o capital físico, o capital humano, o comércio externo e o consumo de energia podem influenciar o crescimento económico.

Tendo em vista o objetivo apontado, utiliza-se informação estatística recolhida a partir de diversas bases para o período temporal de 1986 a 2013 para um painel de catorze países da União Europeia. Para posterior tratamento e análise dos dados recorre-se ao uso de programas econométricos *Gretl* e *Stata*.

Devido à provável existência de endogeneidade das variáveis explicativas, será utilizado o método de estimação GMM (Método dos Momentos Generalizados). O modelo irá ter como variável dependente a taxa de crescimento do PIB *per capita* a preços constantes e como variáveis explicativas (em logaritmos) o nível inicial do PIB *per capita*, a taxa de crescimento da população, o capital físico, o capital humano, o comércio externo e o consumo energético.

Com este estudo pretendemos avaliar o tipo de contributo que o consumo de energia tem para o crescimento económico. Encaramos esta perspetiva através da utilização de dados em painel, focando-nos diretamente na abordagem neoclássica e considerando explicitamente a energia como um dos fatores de crescimento, controlando as flutuações de curto prazo.

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro a Introdução. No segundo, apresenta-se um levantamento bibliográfico de alguns estudos que abordam as temáticas centrais deste trabalho. No capítulo 3, apresenta-se uma descrição dos dados e analisa-se a sua evolução, na tentativa de caracterizar a amostra e perceber a evolução das principais variáveis utilizadas ao longo do tempo. No capítulo 4, define-se a equação de convergência, estima-se o modelo usando as diferentes *proxies* para as variáveis em causa e discutem-se os resultados, à luz da teoria económica.

## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1. Teoria neoclássica do crescimento**

A moderna teoria do crescimento económico assenta em grande medida na importante contribuição de Solow (1956). Este autor parte de uma função de produção agregada de propriedades neoclássicas, rendimentos marginais decrescentes do fator capital e rendimentos constantes à escala. As propriedades apresentadas por esta função de produção estão intimamente ligadas à designação que lhe é atribuída de “teoria de crescimento neoclássica”.

A abordagem neoclássica da convergência tem por base que as economias mais pobres tendem a crescer mais rapidamente do que as mais ricas em estágios iniciais de desenvolvimento económico, sendo que, no longo prazo, todas elas crescem a taxas semelhantes (*steady state*)<sup>1</sup>. Um pressuposto fundamental deste modelo é a lei dos rendimentos decrescentes para o capital, avaliando que as economias com menos *stock*

---

<sup>1</sup> No *steady state* (ou estado de crescimento estacionário) as variáveis crescem a uma taxa constante.

de capital físico crescem mais rapidamente quando comparadas às economias mais desenvolvidas, onde o *stock* de capital é maior e os retornos do investimento são mais baixos. De acordo com esta abordagem, a convergência é assumida como absoluta.

A abordagem neoclássica da convergência absoluta não foi capaz de explicar a cada vez maior assimetria entre as economias, exceto para o caso de um grupo de economias com estrutura semelhante. Os resultados insatisfatórios da convergência absoluta deram origem a um novo conceito de convergência, conhecida como convergência condicional, desenvolvido pelas teorias do crescimento endógeno (Barro, 1991; Sala-i-Martin, 1994, entre outros).

Neste caso, a convergência é assumida como convergência condicional, o que significa que quanto mais distante estiver uma economia da sua posição de *steady-state*, maior é a sua taxa de crescimento havendo uma tendência de longo prazo para a igualdade das taxas de crescimento do produto *per capita*, mas, sem igualdade dos níveis de produto *per capita*.

## **2.2. Modelos de crescimento endógeno**

### **2.2.1. Capital Humano e crescimento económico**

Primeiramente, numa perspetiva mais ampla, os modelos de crescimento endógeno surgiram numa tentativa de dar resposta a algumas questões que foram aparecendo na literatura económica, passando a introduzir o capital humano na função de produção de Solow ao lado do capital físico. Deste modo, o capital humano surge como base teórica para o desenvolvimento de modelos de crescimento endógeno, tornando o papel do capital humano o pressuposto central dos modelos de crescimento endógeno (Barro, 1991).

De acordo com Lucas (1988) a principal causa do crescimento económico é explicada pela acumulação de capital humano<sup>2</sup>, sendo assim, a forma como evolui este fator determina as diferenças na taxa de crescimento dos países. À luz da teoria económica, o capital humano ajudará a uma convergência dos países para os níveis de rendimento *per capita* de *steady-state* (Mauro, 1995).

Apesar de modelarem a questão de forma diferente, Lucas (1988) e Romer (1990) encaram o capital humano como a chave do crescimento económico.

---

<sup>2</sup> Segundo este autor, foram distinguidas duas fontes principais de acumulação de capital humano: educação e *learning by doing*.

De facto, Romer (1990) considera que o capital humano tem um papel essencial no setor da investigação, sendo a base da Investigação e Desenvolvimento (I&D).

Observamos, na literatura económica, que o capital humano contribui para uma convergência mais rápida dos países para níveis de rendimento *per capita* de *steady state* (Mauro, 1995). À luz da teoria neoclássica podem-se utilizar diferentes *proxies* para analisar o capital humano, nomeadamente, a taxa de escolaridade média da população (a mais comum nos estudos empíricos) (Temple, 1999; Lee e Barro, 2001; Moral-Benito, 2012), as taxas de literacia (Romer, 1990) e de matrícula por grau de escolaridade (Barro, 1991; Levine e Renelt, 1992; Mauro, 1995). Mais recentemente, Iqbal e Daly (2014) consideram, para países aparentemente numa fase de desenvolvimento, que a saúde tem um contributo mais significativo do que a educação para o crescimento económico, tendo assim preferência por esta *proxy* como medida de capital humano.

A maioria dos estudos empíricos mostra-nos um efeito positivo e significativo do capital humano sobre o crescimento económico (Barro, 1991; Mankiw *et al.*, 1992; Iqbal e Daly, 2014). Contudo, outros autores remetem-nos para impactos que não são estatisticamente significativos (Levine e Renelt, 1992; Benhabib e Spiegel, 1994; Mauro, 1995)<sup>3</sup>.

### **2.2.2. Comércio externo e crescimento económico**

O papel do comércio internacional como determinante do crescimento económico ganhou visibilidade por Adam Smith, defendendo que um país enriquece ao aumentar a capacidade produtiva e ao produzir bens e serviços onde tem vantagem absoluta sobre os concorrentes.

Esta questão da relação entre comércio externo e crescimento económico tem vindo a ser amplamente discutida na literatura económica. A maior parte dos estudos apontam para a existência de benefícios, a vários níveis, que “fluem” do comércio externo para o crescimento económico, encontrando-se, a maior parte dos economistas de acordo quanto aos benefícios do comércio externo sobre o crescimento económico.

Segundo Wacziarg e Welch (2008), a liberalização do comércio afeta o crescimento económico, em grande medida, pelo efeito que exerce sobre a acumulação de capital, com o aumento dos investimentos. Desta forma, temos vindo a assistir a um

---

<sup>3</sup> Ver também Queirós (2014) e Brito (2015).

aumento, por parte dos países, da abertura comercial, embora se saiba que isso implica uma maior exposição das economias a choques externos.

Apesar das exportações serem geralmente usadas em estudos de crescimento, é mais interessante analisar o peso do comércio externo no PIB (em vez das exportações) e o seu papel para o crescimento (Levine e Renelt, 1992).

A dificuldade em quantificar regimes comerciais conduz a que se recorra a *proxies* simples, nomeadamente o grau de abertura, dado pela razão do comércio internacional em relação ao PIB, devido à simplicidade do seu cálculo (Temple, 1999).

Segundo Grossman e Helpman (1991), o regime comercial de um país afeta o crescimento de longo prazo através do impacto nas mudanças tecnológicas, pois uma maior abertura permite importações que incorporam novas tecnologias; por outro lado, aumenta o mercado efetivo dos produtores nacionais e cria incentivos à difusão tecnológica.

Vários estudos (como Edwards, 1992; Harrison, 1996; Dollar e Kraay, 2004; Alesina *et al.* 2005; Panahi, 2010; Busse e Koniger, 2012), apontam para um impacto positivo e significativo da abertura comercial sobre o crescimento económico.<sup>4</sup> Por outro lado, autores como Levine e Renelt (1992), Mauro (1995) e Moral-Benito (2012) mostram-nos que não encontram efeitos estatisticamente significativos desta variável no crescimento económico.

### **2.2.3. Consumo de energia e crescimento económico**

A relação entre o consumo de energia e o crescimento económico é um tema que tem vindo a ser estudado com bastante profundidade na literatura económica recente relativa à energia. Ao longo do tempo temos vindo a assistir, por um lado, a um aumento da população a nível mundial e, por outro, a crescentes emissões de CO<sub>2</sub>, conduzindo a um aumento das preocupações relativas ao consumo de energia global. Devido à pertinência das questões em torno do consumo de energia, achamos relevante estudar a influência deste fator no crescimento económico.

A relação entre consumo de energia e crescimento económico e as respetivas implicações políticas podem ser estabelecidas em quatro tipos, ilustradas através de hipóteses (Apergis and Payne, 2009; Chen *et al.*, 2007; Ozturk, 2010; Squalli, 2007 e

---

<sup>4</sup> Ver também Antunes (2010) e Brito (2015).

Omri, 2014) - (i) a hipótese de conservação, (ii) a hipótese de crescimento, (iii) a hipótese de *feedback* e (iv) a hipótese de neutralidade<sup>5</sup>:

- (i) A hipótese de conservação remete para uma causalidade unidirecional que vai do crescimento económico para o consumo de energia, o que implica que um aumento no crescimento económico leva a um aumento no consumo de energia. Para economias desenvolvidas, também se pode encontrar um sinal negativo, se o aumento do produto for orientado para setores mais eficientes do ponto de vista energético, sendo natural que o impacto do produto sobre o consumo de energia seja negativo. Esta hipótese sugere que as políticas de conservação do consumo de energia (como a redução das emissões de gases de estufa, medidas de melhoria da eficiência e políticas de gestão da procura) destinadas a diminuir o consumo de energia e o desperdício, não possam afetar negativamente o PIB real, querendo com isto dizer que as políticas de conservação podem ser implementadas com poucos ou nenhuns efeitos adversos sobre o crescimento económico (como nas economias menos dependentes de energia). A hipótese é sustentada pela causalidade de *Granger* sob a ideia de um aumento no PIB real poder conduzir a um aumento no consumo de energia. No entanto, é possível que uma economia em crescimento limitada por questões relacionadas com infraestruturas, problemas políticos ou má gestão dos recursos possa gerar ineficiências e a diminuição da procura de bens e serviços, incluindo o consumo de energia. Se tal se verificar, temos que um aumento do PIB real pode ter um impacto negativo no consumo de energia.
- (ii) A hipótese do crescimento afirma que o consumo de energia desempenha um papel relevante no crescimento económico, tanto direta como indiretamente no processo de produção, enquanto complemento para os fatores trabalho e capital. Com esta hipótese constatamos que a energia é um fator que pode limitar o crescimento económico e, sendo assim, políticas de conservação de energia podem ter um impacto negativo no crescimento económico. Alternativamente se um aumento do consumo de energia tiver um impacto negativo sobre o PIB real, podem surgir várias

---

<sup>5</sup> Incluiremos esta designação quando nos referirmos a outros estudos e aos nossos próprios resultados, para ser mais fácil a comparação e enquadramento de diversas situações.

interpretações. Por exemplo, a situação pode ser aquela em que uma economia em crescimento requer uma quantidade decrescente de consumo de energia à medida que a produção se desloca para setores de serviços com menos intensidade energética. Alternativamente, o impacto negativo do consumo de energia sobre o PIB real pode ser atribuído ao consumo excessivo de energia em setores não produtivos na economia, às restrições de capacidade ou a um acréscimo de energia ineficiente. No contexto da causalidade de *Granger* a hipótese é suportada se um aumento do consumo de energia causar um aumento no PIB real.

- (iii) A hipótese de *feedback* diz que o consumo de energia e o crescimento económico são variáveis que podem influenciar-se mutuamente, ou seja, os aumentos (diminuições) do consumo de energia repercutem-se em aumentos (diminuições) do PIB real, da mesma forma que aumentos (diminuições) do PIB real resultam em aumentos (diminuições) do consumo de energia.
- (iv) Por fim, a hipótese de neutralidade sugere ausência de uma relação entre o consumo de energia e o PIB real, ou seja, não há causalidade entre as variáveis. Segundo esta hipótese o consumo de energia não tem um impacto significativo no crescimento económico. O que significa que nem políticas conservadoras nem expansionistas sobre esta variável se repercutem em termos de efeitos sobre o crescimento económico. Neste caso, as políticas de conservação não afetam negativamente o PIB real.

A análise da relação entre consumo de energia e crescimento económico é mencionada em diversos estudos sob diversas perspetivas, de onde têm resultado conclusões por vezes discordantes. Apesar da extensa literatura já existente sobre esta temática, a presente revisão da literatura empírica só terá em conta os estudos direcionados para um conjunto de vários países (no nosso estudo trabalhamos com dados em painel)<sup>6 7</sup>.

Os primeiros autores a abordar esta temática foram Yu e Choi (1985), para o período de 1950 a 1976, para o Reino Unido, Polónia, EUA, Filipinas e Coreia do Sul. O

---

<sup>6</sup>Para exemplos de estudos para um único país, ver, por exemplo: Kraft e Kraft (1978); Akarca e Long (1980); Yu *et al.* (1988); Yu Jin (1992); Stern (2000) e Ang (2008).

<sup>7</sup> Ver também Ferreira (2013); Lopes (2013); Rocha (2013); Mendes (2014) e Santos (2014).

teste de causalidade de *Granger* utilizado permitiu concluir que não se verificava a existência de uma relação causal entre produto e o consumo de energia para os EUA, Reino Unido e Polónia (hipótese de neutralidade). No que diz respeito à Coreia do Sul, verifica-se uma relação causal do produto para o consumo de energia (hipótese de conservação), enquanto nas Filipinas a situação é inversa, estabelecendo-se uma relação causal no sentido do consumo de energia para o produto (hipótese de crescimento).

Erol e Yu (1987) estudaram a relação de causalidade entre o consumo de energia e o produto para o Canadá, França, Grã-Bretanha, Alemanha, Japão e Itália, para o período de 1952 a 1982, tendo sido utilizados testes de causalidade de *Granger*. Os autores concluem que não se verifica relação de causalidade entre o consumo de energia e o produto real para o Canadá, França e Grã-Bretanha (hipótese de neutralidade). Para o Japão e Itália existe causalidade unidirecional do produto real para o consumo de energia (hipótese de conservação). E por fim, a Alemanha apresenta causalidade unidirecional no sentido inverso, entre consumo de energia e o produto real (hipótese de crescimento).

Soytas e Sari (2003), apresentam um estudo para o grupo de países do G7<sup>8</sup> e outras 10 economias emergentes, através de um modelo VEC. Observaram a existência de causalidade unidirecional (de longo prazo) do consumo de energia para o crescimento económico para a Turquia, França, Alemanha Ocidental e Japão (hipótese de crescimento). Quanto à Coreia e Itália as conclusões apresentadas vão no sentido inverso (hipótese de conservação), havendo, ainda, bidirecionalidade (no longo prazo) para a Argentina (hipótese de *feedback*). Por fim, para os restantes países não foram encontradas relações significativas entre as variáveis em causa (hipótese de neutralidade).

Mais tarde, Soytas e Sari (2006) debruçaram-se apenas sobre o G7, devido aos compromissos destes países para a redução de emissão de gases poluentes, na sequência do Protocolo de Quioto. Para o Canadá, Itália, Japão e Reino Unido verificaram a existência de uma relação entre o consumo energético e o produto nos dois sentidos (hipótese de *feedback*). Para a França e EUA a relação causal partia do consumo de energia para o produto (hipótese de crescimento). Por fim, para a Alemanha, a relação causal fazia-se no sentido do produto para a energia (hipótese de conservação).

Al-Iriani (2006) investigou para o período de 1971 a 2002, a relação de causalidade entre crescimento económico e consumo de energia para um conjunto de seis

---

<sup>8</sup> O grupo dos 7 é composto pela Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido.

países pertencentes ao Conselho de Cooperação do Golfo Pérsico (CCGP)<sup>9</sup>. Para tal, foram utilizadas técnicas de cointegração em painel e o método de estimação GMM que apontam, como resultados, para uma relação causal com origem no produto para o consumo de energia (hipótese de conservação).

Lee *et al.* (2008) publicaram um estudo que investiga a relação entre consumo de energia e o produto através de uma função de produção agregada do tipo *Cobb-Douglas*. Este estudo foi realizado para 22 países da OCDE, entre 1960 e 2001. Foi aplicada uma análise de cointegração em painel e o modelo VEC. Os autores observam a existência de relações causais bidirecionais entre as variáveis (hipótese de *feedback*).

Em Huang *et al.* (2008) são analisados 82 países de 1972 a 2002 através de um modelo VAR com as variáveis PIB real *per capita*, população, *stock* de capital, deflator do PIB e consumo de energia, sendo estimado através do método “*system-GMM*”. Os países são divididos de acordo com os níveis de rendimento em quatro grupos: rendimento baixo, rendimento médio-baixo, rendimento médio-elevado e rendimento elevado. Os resultados encontrados indicam que na categoria de rendimento baixo não existe relação causal entre o consumo de energia e o PIB (hipótese de neutralidade). Para os restantes verifica-se a hipótese da conservação, sendo que nos grupos de rendimento médio (elevado e baixo) a relação é positiva, enquanto que no grupo de rendimento elevado é negativa.

Saidi e Hammami (2015) analisaram o impacto do crescimento económico e das emissões de CO<sub>2</sub> no consumo de energia, para o período temporal de 1990 a 2012, para um painel global de 58 países, através do método GMM. Posteriormente, esta análise foi realizada para mais três painéis (Europa e Norte da Ásia; América Latina e Caraíbas; Sub-Saariana, Norte de África e Médio Oriente). Observou-se que o efeito do crescimento económico sobre o consumo de energia é positivo e estatisticamente significativo no painel global. Relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>, apresentam um impacto positivo e estatisticamente significativo no consumo de energia nos quatro sub-painéis.

Ucan *et al.* (2014) analisam a relação de causalidade entre o consumo de energia renovável e não renovável e o crescimento económico, no período de 1990 a 2011, para quinze países da União Europeia: Áustria, Bélgica, Dinamarca, Alemanha, Irlanda, Grécia, Espanha, França, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Finlândia, Suécia e Reino Unido. Os resultados evidenciam que um aumento no consumo de energia

---

<sup>9</sup> O Conselho de Cooperação do Golfo (CCG) é uma organização de integração económica que reúne seis estados do Golfo Pérsico: Omã, Emirados Árabes Unidos, Arábia Saudita, Qatar, Bahrein e Kuwait.

renovável conduz a um aumento do PIB real e que existe uma relação positiva entre as emissões de gases com efeito de estufa e o PIB real. Quanto ao consumo de energia não renovável tem um impacto negativo no PIB real, querendo isto dizer que, um aumento do consumo de energia não renovável diminui o PIB real. Ao separar a energia não renovável entre petróleo e combustíveis sólidos, o impacto é diferente, tendo os combustíveis sólidos um impacto negativo sobre o PIB real e o petróleo total um impacto positivo no PIB real. De acordo com os testes de causalidade de *Granger* aplicados, conclui-se que existe uma relação causal no sentido da energia não renovável para o crescimento económico e há também uma relação causal das emissões de gases de efeito de estufa para o crescimento económico. Tendo em conta estes resultados, a hipótese de crescimento está presente para os países da UE-15.

No Quadro 1, sintetizam-se alguns estudos empíricos realizados, organizados de forma cronológica, que abordam a relação entre o consumo de energia e crescimento económico.

**Quadro 1:** Aspectos-chave de alguns estudos sobre a relação entre crescimento económico e consumo de energia

| <b>Autores</b>              | <b>Amostra e Período</b>  | <b>Metodologia</b>                                    | <b>Proxies para CE, CO<sub>2</sub> e Y</b>  | <b>Conclusões</b>  |
|-----------------------------|---|---|---|--|
| <b>Yu e Choi (1985)</b>     | Reino Unido, EUA, Polónia, Filipinas, Coreia do Sul: 1950-1976  | Teste de causalidade de <i>Granger</i>                | CE (consumo total de energia)<br>Y (PNB real)   | Reino Unido, EUA, Polónia: Y ↔ CE<br>Filipinas: CE → Y<br>Coreia do Sul: Y → CE              |
| <b>Erol e Yu (1987)</b>     | Japão, Itália, Alemanha, Canadá, França, Reino Unido: 1952-1982 | Teste de causalidade de <i>Granger</i>                | CE (consumo total de energia)<br>Y (PNB real)   | Japão: Y ↔ CE<br>Itália e Alemanha: Y → CE<br>Canadá: CE → Y<br>França e Reino Unido: Y ↔ CE |
| <b>Soytas e Sari (2003)</b> | Países G7: 1950-1992  | Cointegração e teste de causalidade de <i>Granger</i> | CE (milhão de toneladas métricas de carvão equivalente)<br>Y (PIB <i>per capita</i> )   | Argentina: Y ↔ CE<br>Itália e Coreia: Y → CE<br>Turquia, França, Japão e Alemanha: CE → Y    |
| <b>Soytas e Sari (2006)</b> | Países G7: 1960-2004  | Cointegração multivariada, ECM                        | CE (quilotoneladas de petróleo equivalente)<br>Y (PIB real <i>per capita</i> )  | Alemanha: Y → CE<br>França, USA: CE → Y<br>Canadá, Itália, Japão e Reino Unido: Y ↔ CE       |
| <b>Al-Iriani (2006)</b>     | Países CCGP: 1971-2002  | Cointegração em painel, GMM                           | CE (Consumo total de energia)<br>Y (PIB real)   | Y → CE   |
| <b>Lee et al. (2008)</b>    | 22 países da OCDE: 1960-2001                                    | Cointegração em painel, Modelo VECM                   | CE (quilotoneladas de petróleo equivalente <i>per capita</i> )<br>Y (PIB real <i>per capita</i> )   | Y ↔ CE   |
| <b>Huang et al. (2008)</b>  | 82 países: rendimento baixo, médio e elevado: 1972-2002         | VAR em painel, GMM                                    | CE (quilogramas de petróleo equivalente <i>per capita</i> )<br>Y (PIB real)   | Rendimento baixo: Y ↔ CE<br>Rendimento médio: Y → CE (+)<br>Rendimento alto: Y → CE (-)      |
| <b>Ucan et al. (2014)</b>   | EU-15: 1990-2011  | Testes de causalidade de <i>Granger</i>               | CE (energia renovável e não renovável – milhares de toneladas de petróleo equivalente e CO <sub>2</sub> (milhares de toneladas de emissões equivalentes))<br>Y (PIB real) | CE → Y   |

|                        |                      |     |   |                                |
|------------------------|----------------------|-----|---|--------------------------------|
| Saidi e Hammani (2015) | 58 países: 1990-2012 | GMM | CE (consumo total de energia <i>per capita</i> )<br>CO <sub>2</sub> (toneladas métricas <i>per capita</i> )<br>Y (PIB <i>per capita</i> ) | Y ↔ CE<br>CO <sub>2</sub> → CE |
|------------------------|----------------------|-----|---|--------------------------------|

**Fonte:** Elaboração própria.

**Nota:**  $Y \rightarrow CE$ ;  $CE \rightarrow Y$ ;  $Y \leftrightarrow CE$  e  $Y \dashv CE$  – representam as hipóteses de conservação, de crescimento, de *feedback* e de neutralidade, respetivamente.

CE – Consumo de energia

CO<sub>2</sub> – Emissões de dióxido de carbono

Y – Produto

### 3. Principais características das variáveis e análise da sua evolução

Nesta secção apresentamos alguma informação que nos ajuda a perceber melhor os dados com que trabalhamos. Por outro lado, uma análise mais cuidada permite-nos detetar alguns aspetos importantes relativos à evolução das variáveis-chave, bem como o relacionamento entre as variáveis, quer ao longo do tempo, quer entre países. Para o efeito, procuramos combinar a análise gráfica com os quadros onde constam nomeadamente as estatísticas descritivas e a correlação linear entre as variáveis.

#### 3.1. Dados

O período analisado compreende os anos de 1986 a 2013, para um conjunto de catorze países da União Europeia: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Itália, Holanda, Portugal, Reino Unido<sup>10</sup> e Suécia<sup>11</sup>. A escolha destes países deveu-se à disponibilidade de dados completos para os anos e variáveis estudadas.

As variáveis incluídas na análise são<sup>12</sup>: a taxa de crescimento do Produto Interno Bruto *per capita* ( $gy$ ), a taxa de crescimento anual da população ( $txcpop$ ), o capital físico (peso da FBCF no PIB ( $s$ )), o capital humano<sup>13</sup> (usando o rácio das patentes ( $pat$ ) e dos artigos ( $art$ ) por milhão de habitantes), o comércio externo (através do Grau de Abertura

<sup>10</sup> Apesar do *Brexit* (recente), consideramos de modo simplificado que nos podemos referir ao conjunto de países considerado como fazendo parte da União Europeia.

<sup>11</sup> O Luxemburgo não foi incluído na análise devido à falta de dados em isolado para o consumo de energia. Note-se que para a Bélgica, os valores do consumo de energia incluem também os valores do Luxemburgo, por não existirem dados desagregados.

<sup>12</sup> Consideramos intervalos de 3 anos para as variáveis, por forma a controlar as flutuações cíclicas. Para as variáveis em taxas de crescimento, calculamos as médias anuais para cada triénio. Ficamos, assim, com 10 observações para cada país.

<sup>13</sup> As *proxies* para o capital humano consideradas no nosso estudo visam aspetos qualitativos.

(*open*)) e o consumo de energia (usando como *proxies* o consumo de energia primária (*ce*) e as emissões de dióxido de carbono (*edc*))<sup>14</sup>. Procurou-se que as variáveis escolhidas estivessem de acordo com a literatura e que tivessem, também, sido usadas em outros estudos empíricos, para permitir fazer comparações.

O Quadro 2 contém as estatísticas descritivas das variáveis em estudo.

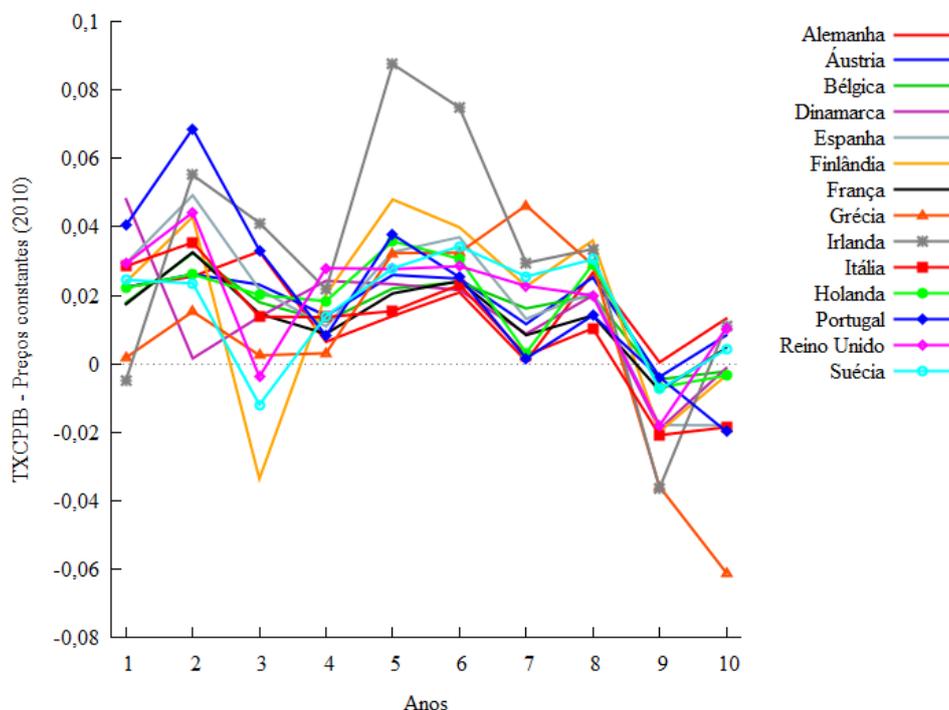
**Quadro 2:** Estatísticas descritivas das variáveis, 1986-2013

| Variáveis      | Obs. | Média    | Desvio-Padrão | Mínimo   | Máximo   |
|----------------|------|----------|---------------|----------|----------|
| $gy_{i,t}$     | 140  | 0,017    | 0,021         | -0,061   | 0,088    |
| $y_{i,t}$      | 140  | 36034,09 | 10344,15      | 13124,96 | 61149,53 |
| $txcpop_{i,t}$ | 140  | 0,054    | 0,004         | 0,045    | 0,076    |
| $s_{i,t}$      | 140  | 21,973   | 2,989         | 12,022   | 31,046   |
| $pat_{i,t}$    | 140  | 109,31   | 88,823        | 0,62     | 337,91   |
| $art_{i,t}$    | 140  | 328,714  | 208,164       | 21,942   | 800,255  |
| $open_{i,t}$   | 140  | 76,500   | 35,191        | 35,021   | 194,039  |
| $ce_{i,t}$     | 140  | 3,971    | 1,239         | 1,314    | 6,358    |
| $edc_{i,t}$    | 140  | 9,000    | 2,656         | 3,121    | 14,573   |

Fonte: Elaboração própria recorrendo ao programa *Stata*.

### 3.2. Análise da evolução das variáveis

**Figura 1:** Taxa de Crescimento do PIB *per capita*



Fonte: Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

<sup>14</sup> Para uma descrição mais detalhada das variáveis e respetivas fontes de dados, consultar o Quadro I, em Anexo.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.  
O valor de 1989 é a média dos valores de 1987,1988,1989 e assim consecutivamente até ao fim do período em análise.

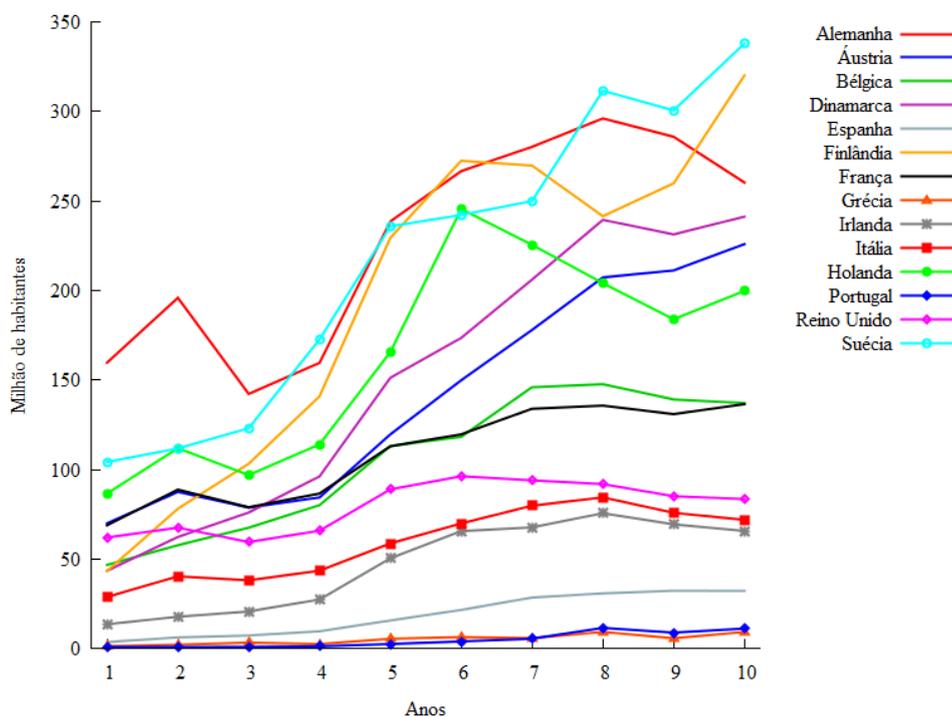
De acordo com a Figura 1, podemos dividir, de um modo geral, a nossa análise em dois momentos. De 1986 a 2007, verificamos que este painel de países apresentou, de modo geral, taxas de crescimento positivas, exceto a Suécia, Finlândia, Reino Unido em 1992 e a Irlanda em 1986. De salientar a Finlândia com o pior comportamento em 1992, altura em que submeteu o seu pedido de adesão à CE (Comunidade Europeia), passando nos anos seguintes a ver a sua taxa de crescimento do PIB *per capita* aumentar. Dentro, ainda, deste panorama, de destacar a Irlanda com valores bastante acima dos restantes países a partir de 1995 justificado pelo período do Tigre Celta<sup>15</sup>. Contudo, pela Figura 1, podemos verificar que o país sofreu uma reversão dramática a partir de 2008, quando entrou em recessão, terminando com esta era de rápido crescimento económico. A partir do ano de 2007 assistimos a uma tendência geral de quebra na taxa de crescimento do PIB real *per capita* deste conjunto de países. Isto pode ser justificado pela crise económica e financeira que “rebentou” por volta de 2008.

Portugal tem um comportamento interessante: tem a maior taxa de crescimento em 1986 quando da entrada na CEE (Comunidade Económica Europeia) e termina como o 2º país com a taxa mais baixa, sendo apenas “ultrapassado” pela Grécia (país que adotou vários pacotes de austeridade desde 2010, vendo assim a sua taxa de crescimento do PIB *per capita* diminuir drasticamente).

---

<sup>15</sup> Refere-se à economia da República da Irlanda no período compreendido entre 1995 e 2000, quando o país passava por uma fase de crescimento económico real rápido, sustentado pelo investimento direto estrangeiro.

**Figura 2:** Patentes por milhão de habitantes (*pat*)



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

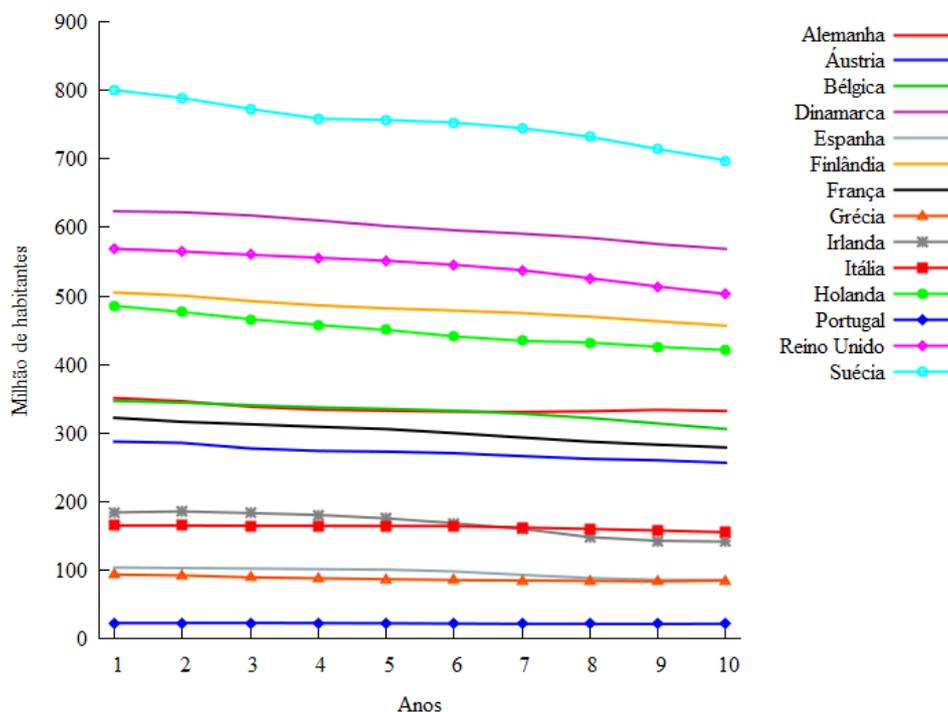
**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

Tendo em conta a Figura 2, no período em análise é notória uma evolução com tendência crescente desta *proxy* do capital humano. De salientar os valores da Suécia, que de acordo com o IUS (*Innovation Union Scoreboard*)<sup>16</sup> pertence ao grupo de países designados “líderes em inovação”, posicionando-se no topo do *ranking* dos países com melhor performance em termos de inovação em 2013, posição que tem vindo a manter. De salientar ainda o facto de a Finlândia, a Alemanha e a Dinamarca pertencerem também ao grupo dos “Líderes em inovação” segundo o IUS.

Por fim, de destacar os valores bastante baixos apresentados por Portugal e Grécia que se fazem acompanhar da Espanha, países caracterizados por níveis baixos e relativamente estáveis ao longo do período.

<sup>16</sup> O IUS, elaborado pela Comissão Europeia (2013), dá-nos uma avaliação comparada do desempenho dos Estados-Membros da UE, assim como os seus pontos fortes e fracos nos sistemas de investigação e inovação. O IUS capta um total de 25 indicadores e os Estados-Membros da UE enquadram-se em quatro grupos de desempenho de Inovação: “Inovadores Líderes, Seguidores, Moderados e Modestos”.

**Figura 3:** Artigos publicados por milhão de habitantes (*art*)



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

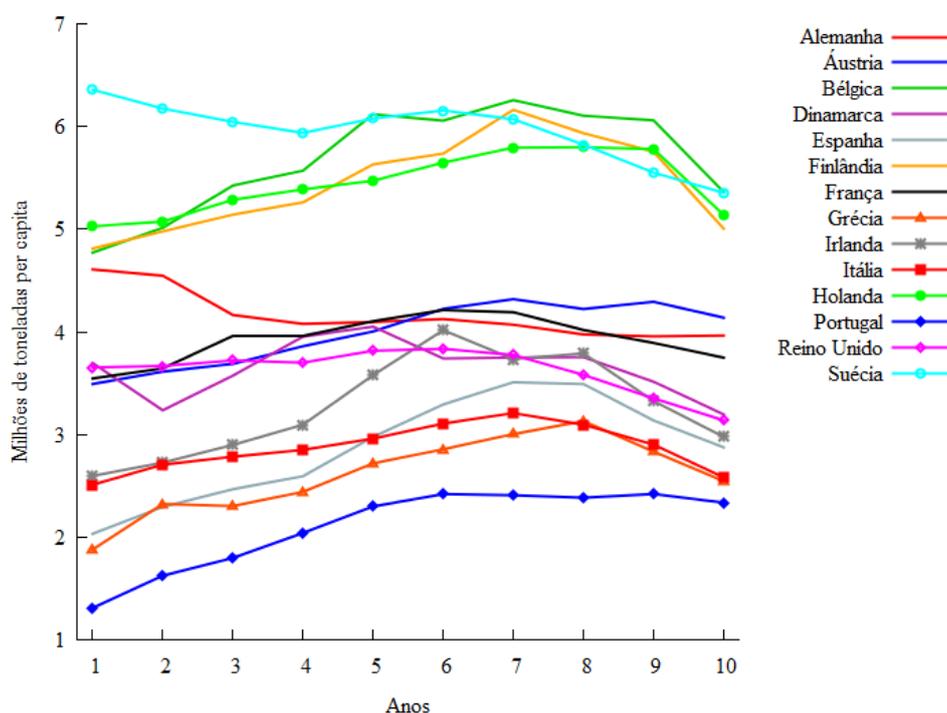
**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

Para esta *proxy* do capital humano, a Figura 3 mostra-nos uma tendência de evolução semelhante para este conjunto de países. É bastante evidente que ao longo do período analisado esta variável mantém-se relativamente estável.

De destacar, novamente, nesta *proxy* do capital humano, que a Suécia, mais uma vez, volta a confirmar ser o melhor país em termos de desempenho no que toca ao capital humano (apesar da tendência decrescente).

Portugal, Grécia e Espanha apresentam, mais uma vez, os valores mais baixos no que diz respeito ao capital humano.

**Figura 4:** Consumo de energia primária (ce)



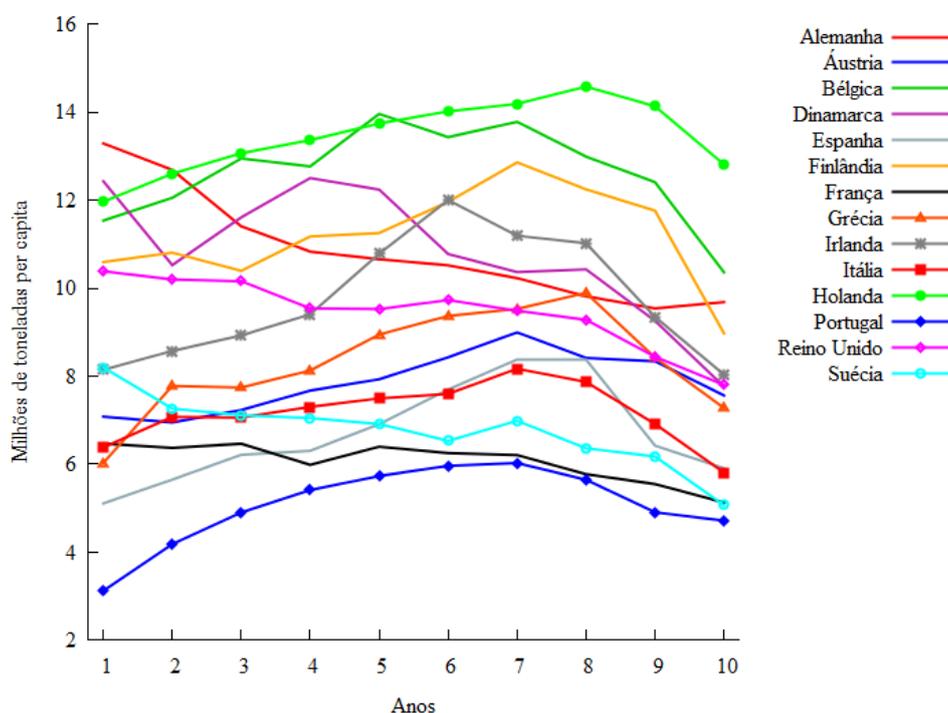
**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

Dando agora destaque ao consumo de energia, no que toca à Figura 4, primeiramente, de um modo geral, verifica-se que os países apresentam uma tendência crescente ao longo do período, evidenciando nos últimos anos uma inversão desse comportamento, possivelmente na sequência da crise económica e financeira internacional e devido às políticas ambientais que têm vindo a desempenhar um papel mais relevante nos últimos anos.

Podemos ver que a Suécia, a Bélgica, a Finlândia e a Holanda são os países que apresentam um maior consumo de energia primária por milhão de habitantes. Portugal, juntamente com a Grécia e a Itália, apresentam os valores mais baixos deste leque de países.

**Figura 5:** Emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

Por último, dando conta da Figura 5, de salientar que entre 1986 e 2013 a Bélgica e a Holanda surgem como os países que apresentam as maiores emissões de dióxido de carbono por milhão de habitantes (apesar da tendência decrescente dos últimos anos).

De destacar a Suécia, que apesar de ser um dos países que apresenta os valores mais elevados de consumo de energia primária, é aqui, um dos países que apresenta os menores valores de emissões de dióxido de carbono.

Por fim, mais uma vez, Portugal é o país com os menores valores no que a esta variável diz respeito, apesar de, ainda assim, ter crescido em relação ao início do período.

A partir daqui torna-se evidente a nossa “curiosidade”, de querer saber se o comportamento em termos de taxas de crescimento dos países analisados pode ser explicado pelo comportamento em termos de capital humano e consumo de energia. Em termos médios, no período em análise os países que obtiveram as maiores taxas de crescimento do PIB *per capita* foram a Irlanda, Alemanha, França, Áustria e Reino Unido, enquanto que as taxas de crescimento mais baixas dizem respeito a Portugal, Grécia e Espanha.

A análise gráfica anterior pode ser completada com a informação no quadro seguinte (Quadro 3), onde comparamos, para as variáveis do capital humano (*art* e *pat*) e do consumo energético (*ce* e *edc*), o desempenho dos diferentes países no primeiro e último ano considerado na análise. Para além disso, calculamos o valor médio para o conjunto de países quer em 1986, quer em 2013, que nos permite ter uma ideia do sinal do acréscimo observado no período em causa.

**Quadro 3:** O capital humano e o consumo de energia nos 14 países da UE, 1986 a 2013

|                      | ARTIGOS |        |         | PATENTES |        |        | CE   |      |       | EDC   |       |       |
|----------------------|---------|--------|---------|----------|--------|--------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 1986    | 2013   | Δ       | 1986     | 2013   | Δ      | 1986 | 2013 | Δ     | 1986  | 2013  | Δ     |
| <b>Alemanha</b>      | 351,39  | 332,51 | -18,88  | 159,71   | 260,31 | 100,60 | 4,61 | 3,97 | -0,64 | 13,28 | 9,68  | -3,60 |
| <b>Áustria</b>       | 287,85  | 256,98 | -30,88  | 70,02    | 225,95 | 155,93 | 3,49 | 4,14 | 0,65  | 7,08  | 7,56  | 0,48  |
| <b>Bélgica</b>       | 347,20  | 306,18 | -41,01  | 46,78    | 137,16 | 90,38  | 4,77 | 5,36 | 0,59  | 11,53 | 10,36 | -1,17 |
| <b>Dinamarca</b>     | 623,76  | 568,84 | -54,92  | 43,51    | 241,28 | 197,77 | 3,70 | 3,20 | -0,50 | 12,43 | 7,76  | -4,66 |
| <b>Espanha</b>       | 104,22  | 86,14  | -18,07  | 3,76     | 32,34  | 28,58  | 2,04 | 2,88 | 0,84  | 5,11  | 5,91  | 0,80  |
| <b>Finlândia</b>     | 505,27  | 456,89 | -48,38  | 43,37    | 320,15 | 276,78 | 4,81 | 5,01 | 0,19  | 10,59 | 8,97  | -1,62 |
| <b>França</b>        | 322,44  | 279,24 | -43,20  | 68,97    | 136,60 | 67,63  | 3,55 | 3,75 | 0,20  | 6,47  | 5,13  | -1,34 |
| <b>Grécia</b>        | 93,81   | 85,27  | -8,54   | 1,43     | 9,40   | 7,97   | 1,88 | 2,55 | 0,67  | 6,03  | 7,27  | 1,25  |
| <b>Irlanda</b>       | 184,48  | 142,01 | -42,47  | 13,67    | 65,83  | 52,16  | 2,60 | 2,98 | 0,38  | 8,14  | 8,03  | -0,11 |
| <b>Itália</b>        | 165,68  | 155,68 | -10,01  | 28,91    | 71,94  | 43,03  | 2,51 | 2,58 | 0,07  | 6,38  | 5,81  | -0,57 |
| <b>Países Baixos</b> | 485,79  | 421,26 | -64,53  | 86,62    | 199,80 | 113,18 | 5,03 | 5,14 | 0,11  | 11,96 | 12,81 | 0,85  |
| <b>Portugal</b>      | 23,12   | 22,19  | -0,94   | 0,63     | 11,33  | 10,70  | 1,31 | 2,34 | 1,03  | 3,12  | 4,72  | 1,60  |
| <b>Reino Unido</b>   | 569,08  | 502,99 | -66,08  | 62,11    | 83,60  | 21,49  | 3,66 | 3,14 | -0,51 | 10,38 | 7,80  | -2,58 |
| <b>Suécia</b>        | 800,26  | 697,68 | -102,57 | 104,28   | 337,91 | 233,63 | 6,36 | 5,36 | -1,00 | 8,20  | 5,07  | -3,13 |
| <b>MÉDIA</b>         | 347,45  | 308,13 | -39,32  | 52,41    | 152,40 | 99,99  | 3,59 | 3,74 | 0,15  | 8,62  | 7,63  | -0,99 |

**Fonte:** Elaboração própria.

**Nota:** Δ - Variação absoluta.

Como podemos ver no Quadro 3, quanto aos artigos publicados por milhão de habitantes (*art*) verificamos, em média, um decréscimo no período compreendido entre 1986 e 2013, tendo a maior queda absoluta sido registada pela Suécia. Para as patentes por milhão de habitantes (*pat*), verifica-se um aumento médio entre 1986 e 2013. Destaca-se aqui a evolução positiva em termos absolutos da Suécia, Dinamarca e Finlândia. De salientar mais uma vez o atraso de Portugal relativamente a este indicador.

Relativamente ao consumo de energia primária (*ce*) temos, em média, um acréscimo ligeiramente positivo e, para as emissões de dióxido de carbono (*edc*), um ligeiro decréscimo entre 1986 e 2013.

No Quadro 4 apresentamos a matriz de correlação linear<sup>17</sup> entre as variáveis. Interessa-nos particularmente a primeira coluna, que dá conta do sinal e intensidade de correlação linear entre o crescimento do produto *per capita* e as restantes. De modo geral, observa-se que os coeficientes de correlação linear são baixos e não apresentam significância estatística, à exceção do nível inicial de produto *per capita* e do capital físico. Este é um modo informal de tentar perceber o tipo de relação possivelmente existente entre as variáveis, com as limitações intrínsecas deste tipo de indicador.

**Quadro 4:** Matriz de correlação linear

|                     | $gy_{i,t}$        | $\ln(y)_{i,t-3}$  | $\ln(s)_{i,t}$    | $\ln(txcpop)_{i,t}$ | $\ln(pat)_{i,t}$ | $\ln(art)_{i,t}$ | $\ln(open)_{i,t}$ | $\ln(ce)_{i,t}$  | $\ln(edc)_{i,t}$ |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| $gy_t$              |                   |                   |                   |                     |                  |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(y)_{i,t-3}$    | -0,3034<br>0,0006 |                   |                   |                     |                  |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(s)_{i,t}$      | 0,5039<br>0,0000  | -0,1705<br>0,0563 |                   |                     |                  |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(txcpop)_{i,t}$ | 0,0360<br>0,6726  | 0,2478<br>0,0051  | 0,3849<br>0,0000  |                     |                  |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(pat)_{i,t}$    | -0,1019<br>0,2311 | 0,8641<br>0,0000  | -0,1228<br>0,1484 | 0,1473<br>0,0824    |                  |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(art)_{i,t}$    | 0,0093<br>0,9134  | 0,7118<br>0,0000  | -0,1286<br>0,1299 | 0,0784<br>0,3573    | 0,8337<br>0,0000 |                  |                   |                  |                  |
| $\ln(open)_{i,t}$   | 0,0331<br>0,6975  | 0,4739<br>0,0000  | -0,0980<br>0,2494 | 0,2381<br>0,0046    | 0,3619<br>0,0000 | 0,1976<br>0,0193 |                   |                  |                  |
| $\ln(ce)_{i,t}$     | 0,0107<br>0,9000  | 0,6608<br>0,0000  | 0,0851<br>0,3172  | 0,2036<br>0,0158    | 0,8294<br>0,0000 | 0,7916<br>0,0000 | 0,4430<br>0,0000  |                  |                  |
| $\ln(edc)_{i,t}$    | 0,1167<br>0,1698  | 0,4035<br>0,0000  | -0,0172<br>0,8399 | 0,1567<br>0,0645    | 0,5074<br>0,0000 | 0,5507<br>0,0000 | 0,4725<br>0,0000  | 0,6327<br>0,0000 |                  |

**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Stata*.

Quando analisamos a correlação linear entre o crescimento do produto *per capita* e cada uma das outras variáveis, “descontando” o efeito das restantes,<sup>18</sup> somos conduzidos aos resultados do Quadro 5. Observamos agora que, à exceção do crescimento populacional (*txcpop*) e das emissões de dióxido de carbono (*edc*), as restantes apresentam correlações significativas (*p-value* 0,0000) com o crescimento do produto *per capita*, e com o sinal esperado. De destacar o sinal negativo que obtemos para o consumo

<sup>17</sup> Através da instrução *pwcorr*, no *Stata*.

<sup>18</sup> Através da instrução *pcorr*, no *Stata*.

de energia (*ce*), que apresenta uma correlação negativa com o produto quando “descontamos” o efeito das restantes variáveis.

**Quadro 5:** Correlação linear entre o crescimento do produto *per capita* e cada uma das outras variáveis

| Variáveis                  | Corr.   | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|----------------|
| $\ln(y)_{i,t-3}$           | -0,5934 | 0,0000         |
| $\ln(s)_{i,t}$             | 0,6329  | 0,0000         |
| $\ln(\text{txcpop})_{i,t}$ | -0,0977 | 0,2903         |
| $\ln(\text{pat})_{i,t}$    | 0,3246  | 0,0003         |
| $\ln(\text{art})_{i,t}$    | 0,4409  | 0,0000         |
| $\ln(\text{open})_{i,t}$   | 0,5114  | 0,0000         |
| $\ln(\text{ce})_{i,t}$     | -0,4246 | 0,0000         |
| $\ln(\text{edc})_{i,t}$    | 0,0948  | 0,3051         |

Fonte: Elaboração própria recorrendo ao programa *Stata*.

## 4. Metodologia

### 4.1. Descrição do modelo e método de estimação

O nosso estudo empírico tem por base um modelo com dados em painel. Segundo Islam (1995) a abordagem de dados em painel torna-se mais adequada, na medida em que permite considerar efeitos específicos dos países e corrigir, assim, o enviesamento por omissão de variáveis. Para além disso, torna possível integrar o processo de convergência dos países ao longo de vários intervalos de tempo consecutivos.

Uma das vantagens da estimação com dados em painel é a revelação da heterogeneidade individual observada. Assim, os dados em painel sugerem a existência de características diferenciadoras dos indivíduos. Essas características podem ou não ser constantes ao longo do tempo, de tal forma que estudos temporais ou seccionais que não tenham em conta tal heterogeneidade produzirão, quase sempre, resultados fortemente enviesados. Por outro lado, os dados em painel providenciam uma maior quantidade de informação, maior variabilidade dos dados, menos colinearidade entre as variáveis, maior número de graus de liberdade e maior eficiência na estimação. Os dados em painel permitem identificar e medir efeitos que não serão pura e simplesmente detetáveis em estudos exclusivamente seccionais ou temporais. No entanto, a análise econométrica com dados em painel não está isenta de problemas, nomeadamente, quanto ao risco de se ter amostras incompletas ou com graves problemas de recolha de dados, onde importa também ter em conta os erros de medida e onde podem surgir problemas com o enviesamento de seleção (Marques, 2000).

No nosso estudo empírico seguimos a fórmula genérica utilizada nos estudos de crescimento económico neoclássico, de acordo com o modelo de Solow aumentado. Consideramos, assim, uma versão alternativa do modelo de crescimento neoclássico, tal como proposto por Caselli *et al.* (1996) para dados em painel, de modo a evitar o enviesamento por omissão de variáveis. Assim sendo, a equação dinâmica a estimar é a seguinte<sup>19</sup>:

$$gy_{i,t} = \beta_1 \ln(y)_{i,t-3} + \beta_2 \ln(txcpop)_{i,t} + \beta_3 \ln(s)_{i,t} + \beta_4 \ln(ch)_{i,t} + \beta_5 \ln(open)_{i,t} + \beta_6 \ln(ce)_{i,t} + v_{i,t},$$

com  $v_{i,t} = \alpha_i + \mu_{i,t}$  (4.1)

Onde  $\alpha_i$  refere-se a efeitos específicos do país ou erros de medição específicos de cada país e  $\mu_{i,t}$  é o termo de erro idiossincrático.

O índice  $i$  refere-se aos países ( $i = 1, \dots, 14$ ) e o  $t$  ao tempo ( $t = 1986, \dots, 2013$ ).

Visto que os intervalos de tempo anuais podem ser muito curtos para serem adequados para estudar a convergência, optamos por intervalos de três anos para evitar influências do ciclo económico no processo de crescimento, como é habitual na literatura. Assim sendo, procedendo a esta transformação, o período de 1986 a 2013 passa a incluir 10 observações temporais para cada país.

A variável dependente é a taxa de crescimento anual do PIB *per capita* em intervalos de três anos. O conjunto de variáveis explicativas inclui os logaritmos: do PIB *per capita* inicial ( $\ln(y)_{i,t-3}$ ), do crescimento anual da população<sup>20</sup> ( $\ln(txcpop)_{i,t}$ ), investimento em capital físico ( $\ln(s)_{i,t}$ ), o capital humano ( $\ln(ch)_{i,t}$ ), o comércio externo ( $\ln(open)_{i,t}$ ) e o consumo energético ( $\ln(ce)_{i,t}$ ).

Existem diversas técnicas para estimar modelos com dados em painel. No nosso caso, em que temos um painel dinâmico com endogeneidade dos regressores, o método de estimação GMM (Método dos Momentos Generalizados) apresenta-se como o mais razoável. Existem dois tipos de estimadores GMM: o “*difference* GMM” e o “*system*-GMM”. Quanto ao estimador original Arellano-Bond (“*difference* GMM”), consideram-se os instrumentos em níveis, nas equações em primeiras diferenças.

---

<sup>19</sup> Ver também Antunes (2010).

<sup>20</sup> Para a taxa de crescimento anual da população ( $txcpop$ )<sub>*i,t*</sub> adicionamos  $(g+\delta)=0,05$  com  $g$  a taxa de progresso tecnológico e  $\delta$  a taxa de depreciação do capital físico e humano, iguais entre os países e através do tempo (Islam, 1995).

Blundell e Bond (1998) e Bond *et al.* (2001) demonstraram que o estimador GMM de primeira diferença pode estar enviesado quando temos séries persistentes (raízes unitárias). Assim sendo, consideram o estimador “*system-GMM*”, em que para além do cenário relativamente ao “*difference GMM*”, adicionam-se agora instrumentos em primeiras diferenças, nas equações em níveis (Blundell e Bond, 1998 e Arellano e Bover, 1995). Por esta razão, este estimador expandido é apresentado como sendo mais eficiente do que o anterior. Tanto para o “*difference GMM*” como para o “*System-GMM*” temos os estimadores “*one-step*” e “*two-step*”, sendo que o estimador “*one-step*” é consistente embora não eficiente e o “*two-step*” é assintoticamente eficiente. Quando os erros são *iid* (*independentes e identicamente distribuídos*) torna-se indiferente usar o “*one-step*” ou o “*two-step*”, quando os erros não são *iid* deve ser usado o estimador “*two-step*”.

O estimador “*system-GMM*” tem sido usado em vários estudos de crescimento económico, entre os quais: Levine *et al.* (2000), Blundell e Bond (2000) e Aisen e Veiga (2013).

No nosso caso, temos um painel curto e a utilização dos instrumentos em níveis permite tirar mais proveito em termos do tamanho da amostra. Além disso, da utilização de instrumentos em níveis resultam habitualmente variâncias menores dos estimadores, sendo por isso recomendada a sua utilização (Baltagi, 2005).

Assim sendo, não optamos, à partida, por um ou outro método de estimação. Recorremos a ambos os estimadores e analisamos os resultados considerados mais razoáveis.<sup>21</sup>

Após as estimações, testámos a autocorrelação de 2ª ordem dos erros, em primeiras diferenças, tal como sugerido por Arellano e Bond (1991) - *AR2 test*. Ao não rejeitar a hipótese nula, estamos a considerar que os instrumentos são válidos. Este é um requisito essencial para a consistência do estimador GMM.

Para além disso, para verificar a exogeneidade dos instrumentos usados recorre-se ao teste J de Hansen (1982) - *Hansen J-test*, uma versão robusta do teste de Sargan. Por fim, resta indicar que de acordo com Roodman (2006), apresentamos o número de instrumentos considerados em cada regressão, tendo em atenção que deve ser inferior ao número de países.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Através da instrução “*xtabond2*” no *Stata*. Para mais informações, consultar Roodman (2006).

<sup>22</sup> Foi necessário utilizar a opção “*collapse*” para reduzir a dimensão da matriz dos instrumentos. Esta opção é extremamente útil em amostras pequenas como a nossa.

## 4.2. Estimações e Resultados

O Quadro 6 resume algumas das estimações realizadas. Compreende os resultados encontrados que foram considerados mais plausíveis, em termos de sinal e significância dos coeficientes, por um lado, e dos testes realizados, por outro.

**Quadro 6:** Resultados para a UE-14, 1986-2013

| Variáveis                             | (1) pat, ce           | (2) pat, ce          | (3) art, ce          | (4) art, ce           | (5) art, ce           | (6) art, edc        | (7) art, edc         |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| $\ln(y)_{i,t-3}$                      | -0,08176**<br>(-2,21) | -0,0690**<br>(-2,20) | -0,1712**<br>(-2,31) | -0,0610***<br>(-6,61) | -0,0554***<br>(-4,07) | -0,1704*<br>(-2,03) | -0,0507**<br>(-2,76) |
| $\ln(\text{txcpop})_{i,t}$            | -0,1064<br>(-1,44)    | -0,1101<br>(-1,53)   | -0,0395<br>(-0,51)   | -0,1117**<br>(-2,28)  | -0,1203<br>(-1,68)    | -0,0674<br>(-0,74)  | -0,1290**<br>(-2,20) |
| $\ln(s)_{i,t}$                        | 0,1130***<br>(3,74)   | 0,1114*<br>(1,81)    | 0,1255***<br>(5,75)  | 0,1118***<br>(3,32)   | 0,1255**<br>(2,67)    | 0,1218***<br>(4,66) | 0,1103**<br>(2,84)   |
| $\ln(\text{open})_{i,t}$              | 0,0682 **<br>(2,32)   | 0,0526***<br>(6,49)  | 0,0882**<br>(2,49)   | 0,0437***<br>(3,28)   | 0,049**<br>(2,42)     | 0,0999**<br>(2,37)  | 0,0412***<br>(3,49)  |
| $\ln(\text{pat})_{i,t}$               | -0,0023<br>(-0,15)    | 0,0043<br>(0,26)     | -                    | -                     | -                     | -                   | -                    |
| $\ln(\text{art})_{i,t}$               | -                     | -                    | -0,2629<br>(-1,25)   | 0,0119<br>(1,37)      | 0,0125<br>(1,10)      | -0,3322<br>(-1,36)  | 0,0129**<br>(2,22)   |
| $\ln(\text{ce})_{i,t}$                | 0,0372<br>(0,87)      | 0,0261<br>(0,45)     | 0,0743*<br>(1,93)    | 0,0151<br>(0,50)      | 0,0168<br>(0,37)      | -                   | -                    |
| $\ln(\text{edc})_{i,t}$               | -                     | -                    | -                    | -                     | -                     | 0,0838 **<br>(2,49) | 0,0336<br>(1,60)     |
| <b>Obs.</b>                           | 112                   | 126                  | 112                  | 126                   | 126                   | 112                 | 126                  |
| <b>Nº países</b>                      | 14                    | 14                   | 14                   | 14                    | 14                    | 14                  | 14                   |
| <b>Nº instr.</b>                      | 12                    | 13                   | 12                   | 13                    | 13                    | 12                  | 13                   |
| <b>Hansen J-<br/>test<br/>p-value</b> | 6.45<br>0.375         | 6.78<br>0.341        | 9.85<br>0.131        | 9.84<br>0.131         | 9.84<br>0.131         | 7.17<br>0.306       | 8.83<br>0.183        |
| <b>AR2 test<br/>p-value</b>           | 0.86<br>0.388         | 0.59<br>0.555        | 0.92<br>0.358        | 0.60<br>0.550         | 0.26<br>0.795         | 1.19<br>0.235       | 0.69<br>0.493        |

**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Stata*.

**Nota:**

As colunas (1), (3) e (6) são as estimações GMM “one step difference”.

As colunas (2) e (5) são as estimações GMM “two step system”.

As colunas (4) e (7) são as estimações GMM “one step system”.

Os números entre parênteses são a estatística t.

Coefficiente significativo ao nível de 10% (\*), Coeficiente significativo ao nível de 5% (\*\*), Coeficiente significativo ao nível de 1% (\*\*\*).

*Hansen-J test* é o teste de sobreidentificação das restrições da estimação por GMM.

*AR2 test* é o teste de Arellano e Bond para a autocorrelação de segunda ordem em primeiras diferenças.

Em primeiro lugar, interessa realçar que em todas as estimações apresentadas temos sinais de convergência condicional, uma vez que o coeficiente estimado do rendimento inicial é significativo e negativo. Segundo a teoria de crescimento neoclássica, espera-se que esta variável tenha uma relação negativa com o crescimento económico, justificado pelo pressuposto de rendimentos decrescentes do capital (Barro, 1991).

A taxa de crescimento populacional não tem significância estatística, à exceção de dois casos, onde apresenta sinal negativo. Ambas as situações encontram-se sustentadas na literatura económica sobre o tema. De facto, à luz da teoria de crescimento neoclássica, espera-se um efeito negativo da população no crescimento económico (Barro, 1991,2003). Quanto maior for a taxa de crescimento da população menor será o ritmo de crescimento económico *per capita* (Dreher, 2006; Aisen e Veiga, 2013).

Por outro lado, o capital físico apresenta o sinal positivo esperado e tem significância estatística. O investimento físico é tido como um dos determinantes mais importantes para o crescimento económico, ideia apoiada tanto pelo modelo de Solow como pelos modelos de crescimento endógeno. A ideia é que mais investimento físico contribui para o crescimento económico de um país, como é evidenciado pelos estudos de Barro (1991), Levine e Renelt (1992), Benhabib e Spiegel, (1994), Mauro (1995), Dreher (2006), e Aisen e Veiga (2013).

O grau de abertura também é comum a todas as estimações sendo positivo e significativo, conforme esperado.

As diferenças nas estimações realizadas prendem-se com as *proxies* consideradas quer para o capital humano (*art* e *pat*), quer para o consumo energético (*ce* e *edc*).

Assim, nas colunas (1) e (2) temos as patentes (*pat*) combinadas com o consumo de energia primária (*ce*). Os resultados mostram-nos que nenhuma destas variáveis apresenta significância estatística. Apesar de, em princípio, o capital humano contribuir positivamente para o crescimento económico, esperando-se um efeito positivo desta variável (Barro, 2003, 2013), resultados como estes por nós encontrados, não são novidade na literatura económica. Segundo Levine e Renelt (1992), Benhabib e Spiegel (1994) e Mauro (1995) o capital humano não evidencia impactos estatisticamente significativos no crescimento económico. Islam (1995) encontrou resultados onde o impacto do capital humano sobre o crescimento económico era negativo e/ ou sem significância estatística, sobretudo em estudos com dados em painel.

O facto de o consumo de energia primária (*ce*) não ter um impacto significativo no crescimento económico remete-nos para a hipótese de neutralidade.

Nas colunas (3), (4) e (5) estão presentes os resultados para a combinação de artigos (*art*) e consumo de energia primária (*ce*). Novamente, os efeitos quer do capital humano quer do consumo de energia são positivos, mas não significativos (exceto na coluna (3), onde *ce* é estatisticamente significativo a 10% indo de encontro à hipótese do crescimento), e atendendo também à existência de *feedback* entre as variáveis, pelo facto de existir endogeneidade.

As colunas (6) e (7) mostram-nos os resultados das estimações para a combinação artigos (*art*) e emissões de dióxido de carbono (*edc*). Na coluna (6) o coeficiente estimado dos artigos (*art*) surge com um sinal negativo, embora não significativo. As emissões de dióxido de carbono (*edc*) aparecem com um sinal positivo e significância estatística, querendo isto dizer que para esta estimação as emissões de dióxido de carbono (*edc*) têm um impacto positivo sobre o crescimento económico remetendo-nos tanto para a hipótese de crescimento bem como para a hipótese de *feedback* (pela questão da endogeneidade).

Na coluna (7), o capital humano representado pelos artigos (*art*) apresenta um impacto positivo e significância estatística, enquanto que as emissões de dióxido de carbono (*edc*) surgem sem significância estatística (hipótese da neutralidade).<sup>23</sup>

No final do Quadro 6 apresentamos os testes de Hansen (*Hansen J-test*) e de autocorrelação de 2ª ordem em primeiras diferenças (*AR2 test*). Em ambos nunca se rejeita as respetivas hipóteses nulas (*p-value* sempre maior que 0,05), pelo que os instrumentos são considerados válidos.<sup>24</sup>

## 5. Conclusão

A literatura associada às teorias de crescimento aponta e analisa diversos determinantes do crescimento económico (Barro, 1991; Levine e Renelt, 1992), sendo as variáveis habitualmente usadas o nível inicial de rendimento *per capita*, o capital físico, o crescimento da população, o capital humano e o comércio externo.

---

<sup>23</sup> Apesar de à luz da teoria económica o capital humano ter um impacto positivo e ser significativamente estatístico, no nosso estudo tal não se verifica. Convém lembrar a Figura 3, onde é evidente que ao longo do período a variável artigos por milhão de habitantes (*art*) não sofreu grandes alterações.

<sup>24</sup> Para além das estimações do Quadro 6, foram repetidas as estimações sem o grau de abertura para percebermos até que ponto os resultados do capital humano e consumo de energia se alteravam. Concluímos que continuavam sem significância estatística. Posteriormente, em vez de retirarmos o grau de abertura, eliminou-se o consumo de energia por forma a verificar se o capital humano ganhava significância estatística, mais uma vez conclui-se que não era significativo.

No presente estudo damos destaque a uma variável de interesse (consumo de energia) que introduzimos no nosso modelo para verificar se é um fator relevante para o crescimento económico, tentando precisamente responder à questão: “*Consumo energético e crescimento económico: que relação é possível estabelecer?*”.

Para tal, a primeira parte deste estudo foi dedicada à revisão da literatura económica, para percebermos como tem sido trabalhada a temática sobre a qual nos debruçamos de forma, também, a podermos enquadrar os resultados por nós encontrados.

Posteriormente, procedemos a uma análise informal das variáveis analisadas, para termos uma perceção de como se comportaram ao longo do período em análise. De um modo geral, relativamente à taxa de crescimento do PIB *per capita*, é evidente uma quebra existente na generalidade dos países a partir de 2007, o que pode ser justificado pela crise económica e financeira mais recente. Quanto às diferentes *proxies* consideradas para o capital humano e consumo de energia, de destacar o facto dos artigos (*art*) não sofrerem praticamente oscilações ao longo do período da amostra, o que poderá condicionar os resultados.

Numa terceira fase, comparamos empiricamente, a relação de alguns fatores, nomeadamente, o nível inicial do PIB *per capita*, a taxa de crescimento da população, o capital físico e humano, o comércio externo e o consumo de energia com a taxa de crescimento do PIB *per capita*. Este nosso estudo empírico foi realizado para catorze países da UE entre o período de 1986 a 2013, estimando as equações de convergência em painel pelo método GMM. Como resultados, concluímos, de um modo geral, que o nível inicial do PIB *per capita*, o investimento físico e o comércio externo são imprescindíveis para o crescimento económico e deste modo, o nosso estudo confirma que estas variáveis se encontram em conformidade com a teoria económica.

De destacar o capital físico e o comércio externo como sendo as variáveis em que obtivemos melhores resultados, de um modo geral. O capital físico é tido como um dos determinantes mais importantes para o crescimento económico, ideia apoiada tanto pelo modelo de Solow como pelos modelos de crescimento endógeno. O comércio externo, por seu turno, possibilita uma maior abertura por parte dos países, permitindo criar um ambiente mais favorável à difusão do conhecimento e da tecnologia, fatores essenciais para o crescimento (Barro, 1991).

Seria de esperar, à partida, que o capital humano tivesse um impacto positivo e estatisticamente significativo no crescimento económico, contudo isso não se verifica de

forma evidente. A solução poderá passar por utilizar outras medidas para a variável do capital humano.

Relativamente à variável principal de interesse no nosso modelo, os resultados encontrados indicam que é o fator com menos impacto no crescimento do PIB *per capita*. Apesar de ser o fator com menos impacto na economia, como foi possível constatar, tem sido bastante estudado ao longo dos anos na literatura económica e requer atenção por parte das economias. A justificação pode prender-se com o facto de o consumo energético ser uma pequena componente do crescimento económico global, para este conjunto de economias (Omri, 2014).

Respondendo de forma direta à nossa questão inicial, concluimos, de um modo geral, que o consumo de energia, aparentemente e de modo direto não está a afetar o crescimento económico destes países no período em análise. Isto remete-nos para uma das hipóteses contempladas na revisão da literatura realizada para esta temática, sendo ela a hipótese da neutralidade. Segundo esta hipótese constata-se uma ausência de relação entre o consumo de energia e o PIB, não tendo o consumo de energia impacto significativo sobre o crescimento económico.

Por fim, pode deixar-se como hipótese de trabalho futuro que se procurem *proxies* mais adequadas para o capital humano e consumo de energia, na medida em que é importante que este tipo de reflexões apareça. É importante continuar a refletir sobre a variável de interesse no nosso estudo. Uma análise mais “fina”, que considerasse não o consumo de energia primária, mas o consumo de eletricidade, ou de energias renováveis, por exemplo, poderia ser o passo a seguir. Por outro lado, uma análise por setores de atividade em vez da perspetiva macroeconómica agregada poderia permitir obter resultados mais robustos. Por fim, a relativização das medidas de consumo energético por área de superfície em vez da população, poderia constituir uma outra vertente de análise.

Os resultados em termos das quatro hipóteses (conservação, crescimento, *feedback* e neutralidade) ainda geram muita discórdia. A título de exemplo, da recolha de estudos efetuada por Omri (2014) concluiu-se que 29% dos casos vão no sentido da hipótese do crescimento, 27% apontam para a existência da hipótese de *feedback*, 23% para a hipótese de conservação e 21%, para a da neutralidade.

## Referências Bibliográficas

Aisen, A.; Veiga, F. (2013) “How does political instability affect economic growth?” *European Journal of Political Economy*. 29, 151-167.

Akarca A.T.; Long T.V. (1980) “On the relationship between energy and GNP: a reexamination” *Journal of Energy Development*. 5, 326–331.

Al-Iriani, M.A. (2006) “Energy–GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel causality” *Energy Policy*. 34 (17), 3342–3350.

Alesina, A.; Spolaore, E.; Wacziarg, R. (2005) “Trade, Growth and the Size of Countries” in Aghion, P.; Durlauf, S. (eds.) *Handbook of Economic Growth*. 1, 1500-1539.

Ang, J.B. (2008) “Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia” *Journal of Policy Modeling*. 30, 271–278.

Antunes, M. (2010) *The interaction between human capital, foreign trade and economic growth: an empirical approach*. Tese de doutoramento em Economia. Universidade de Coimbra.

Apergis, N.; Payne, J.E. (2009) “Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model” *Energy economics*. 31, 211-216.

Arellano, M.; Bond, S. (1991) “Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations” *The Review of Economic Studies*. 58(2), 277-297.

Arellano, M.; Bover, O. (1995) “Another look at the instrumental variable estimation of error-components models” *Journal of Econometrics*. 68, 29-51.

Baltagi, B. (2005) *Econometric analysis of panel data* (3<sup>rd</sup> ed), Chichester: John Wiley & Sons.

Barro, R. (1991) “Economic Growth in a Cross Section of Countries” *The Quarterly Journal of Economics*. 106(2), 407-443.

Barro, R. (2003) “Determinants of Economic Growth in a Panel of Countries” *Annals of Economics and Finance*. 4, 231-274.

Barro, R. (2013) “Education and Economic Growth” *Annals of Economics and Finance*. 14(2), 301-328.

Benhabib, J.; Spiegel, M. M. (1994) “The role of human capital in economic development Evidence from aggregate cross-country data” *Journal of Monetary Economics*. 34, 143-173.

Blundell, R.; Bond, S. (1998) “Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models” *Journal of Econometrics*. 87, 115-43.

Blundell, R.; Bond, S. (2000) “GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions” *Econometric Reviews*. 19(3), 321-340.

Bond, S.; Hoeffler, A.; Temple, J. (2001) “GMM estimation of empirical growth models” *CEPR Discussion Papers no. 3048*.

Brito, J. (2015) *Determinantes do Crescimento Económico: Uma Aplicação a Países Pequenos, Com Especial Referência para Cabo Verde*. Tese de doutoramento em Economia. Universidade de Coimbra.

Busse, M., & Königer, J. (2012) “Trade and economic growth: A re-examination of the empirical evidence” *Available at SSRN 2009939*.

Caselli, F.; Esquivel, G; Lefort, F. (1996) “Reopening the convergence debate: a new look at cross-country growth empirics” *Journal of Economic Growth*. 1, 363-389.

Chen, S., Kuo, H., Chen, C. (2007) “The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian Countries” *Energy Policy*. 35, 2611–2621.

Dollar, D.; Kraay, A. (2004) “Trade, Growth, and Poverty” *The Economic Journal*. 114, F22-F49.

Dreher, A. (2006) “Does globalization affect growth? Evidence from a new index of globalization” *Applied Economics*. 38, 1091-1110.

Edwards, S. (1992) “Trade orientation, distortions and growth in developing countries” *Journal of Development Economics*. 39, 31-57.

Erol, U. e Yu, E.S.H. (1987) “On the causal relationship between energy and income for industrialized countries” *Journal of Energy and Development*. 13, 113-122.

European Commission, *Innovation Union Scoreboard (IUS) 2014* <[http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius/ius-2014\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/ius/ius-2014_en.pdf)>

Ferreira, M. (2013) *Consumo de Energia e Crescimento Económico: Evidência em período longo para um painel de países europeus*. Tese de mestrado em Economia. Universidade da Beira Interior.

Grossman, G.; Helpman, E. (1991) “Quality ladders in the theory of growth” *Review of Economic Studies*. 58, 43-61.

Hansen, P. L. (1982) “Large Simple Properties of Generalized Methods of Moments Estimators” *Econometrica*. 50(4), 1029-1054.

Harrison, A. (1996) “Openness and growth: A time-series, cross-country analysis for developing countries” *Journal of Development Economics*. 48, 419-447.

Huang, B.N., Hwang, M.J., Yang, C.W. (2008) “Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach” *Ecological Economics*. 67, 41–54.

Islam, N. (1995) “Growth empirics: a panel data approach”. *The Quarterly Journal of Economics*. 110(4), 1127-71.

Iqbal, N.; Daly, V. (2014) “Rent seeking opportunities and economic growth in transitional economies” *Economic Modelling*. 37, 16-22.

Kraft J.; A. Kraft (1978) “On the Relationship between Energy and GNP” *Journal of Energy*. 3, 401-403.

Lee, J.W.; Barro, R. J. (2001) "Schooling Quality in a Cross-Section of Countries" *Economica*. 68, 465-488.

Lee, C.; Chang, C.; Chen, P. (2008) “Energy-income causality in OECD countries revisited: The key role of capital stock” *Energy Economics*. 30, 2359–2373.

Levine, R.; Renelt, D. (1992) “A sensitivity analysis of cross-country growth regressions” *American Economic Review*. 82(4), 942-963.

Levine, R.; Loayza, N.; Beck, T. (2000) “Financial intermediation and growth: Causality and causes” *Journal of Monetary Economics*. 46, 31-77.

Lopes, S. (2013) *Energia e Crescimento Económico: Análise Painel de Países Asiáticos*. Tese de mestrado em Economia. Universidade da Beira Interior.

Lucas, Robert Jr. (1988) “On the Mechanics of Economic Development” *Journal of Monetary Economics*. 22, 3-42.

Mankiw, N. G.; Romer, D.; Weil, D. (1992) “A Contribution to the Empirics of Economic Growth” *Quarterly Journal of Economics*. 107(2), 407-437.

Marques, L. (2000) “Modelos Dinâmicos com Dados em Painel: Revisão de Literatura” *Centro de Estudos Macroeconómicos e Previsão*. 1-82.

Mauro, P. (1995) “Corruption and growth” *The Quarterly Journal of Economics*. 110(3), 681-712.

Mendes, C. (2014) *Consumo de energia e crescimento económico: uma relação em estudo com foco nos países componentes do BRICS*. Tese de mestrado em Administração. Universidade Federal de Santa Maria.

- Moral-Benito, E. (2012) “Determinants of economic growth: a bayesian panel data approach” *The Review of Economics and Statistics*. 94(2), 566-579.
- Omri, A. (2014) “An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studies” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 951-959.
- Ozturk, I. (2010) “A literature survey on energy-growth nexus” *Energy Policy*. 38 ,340-349.
- Panahi, H. (2010) “Size of a Country, Openness and the Economic Growth” *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 42, 686-692.
- Queirós, A. (2014) *Crescimento económico, capital humano e especialização produtiva: uma análise empírica*. Tese de mestrado em Economia. Universidade do Porto.
- Rocha, J. (2013) *Consumo de Energia e Crescimento Económico em Países Exportadores de Petróleo*. Tese de mestrado em Economia. Universidade da Beira Interior.
- Romer, Paul (1990) “Endogenous Technological Change” *Journal of Political Economy*. 98(5), 71-102.
- Roodman, D. (2006) “How to do xtabond2: an introduction to “difference” and “system” GMM in Stata” *Center for Global Development Working Paper no. 103*.
- Saidi, K., & Hammami, S. (2015) “The impact of CO2 emissions and economic growth on energy consumption in 58 countries” *Energy Reports*. 1, 62-70.
- Sala-i-Martin, X. (1994) “Economic growth, cross-sectional regressions and the empirics of economic growth” *European Economic Review*. 38, 739-47.
- Santos, J. (2014) *As determinantes do crescimento económico em Portugal, Irlanda e Grécia*. Tese de mestrado em Economia Internacional e Estudos Europeus. Universidade de Lisboa.
- Solow, R.M. (1956) “A contribution to the theory of economic growth” *The Quarterly Journal of Economics*. 70(1), 65-94.
- Soytas, U. e Sari, R. (2003) “Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets” *Energy Economics*. 25, 33-37.
- Soytas, U. e Sari, R. (2006) “Energy consumption and income in G7 countries” *Journal of Policy Modeling*. 28, 739-750.
- Squalli, J. (2007) “Electricity consumption and economic growth: bounds and causality analyses of OPEC countries” *Energy Economics*. 29, 1192–1205.

Stern, D.I. (2000) “A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy” *Energy Economics*. 22, 267–283.

Temple, J. (1999) “The new growth evidence” *Journal of Economic Literature*. 37, 112-56.

Ucan, O., Aricioglu, E., & Yucel, F. (2014) “Energy Consumption and Economic Growth Nexus: Evidence from Developed Countries in Europe” *International Journal of Energy Economics and Policy*. 4, 411-419.

Wacziarg, R.; Welch, K. (2008) “Trade Liberalization and Growth: New Evidence” *The World Bank Economic Review*. 22(2), 187-231.

Yu, E.S.H., Choi, J.Y. (1985) “The causal relationship between energy and GNP: an international comparison” *Journal of Energy and Development*. 10, 249–272.

Yu E.S.H.; Choi P.C.Y.; Choi J.Y. (1988) “The relationship between energy and employment: are-examination” *Energy Systems Policy*. 11, 287–295.

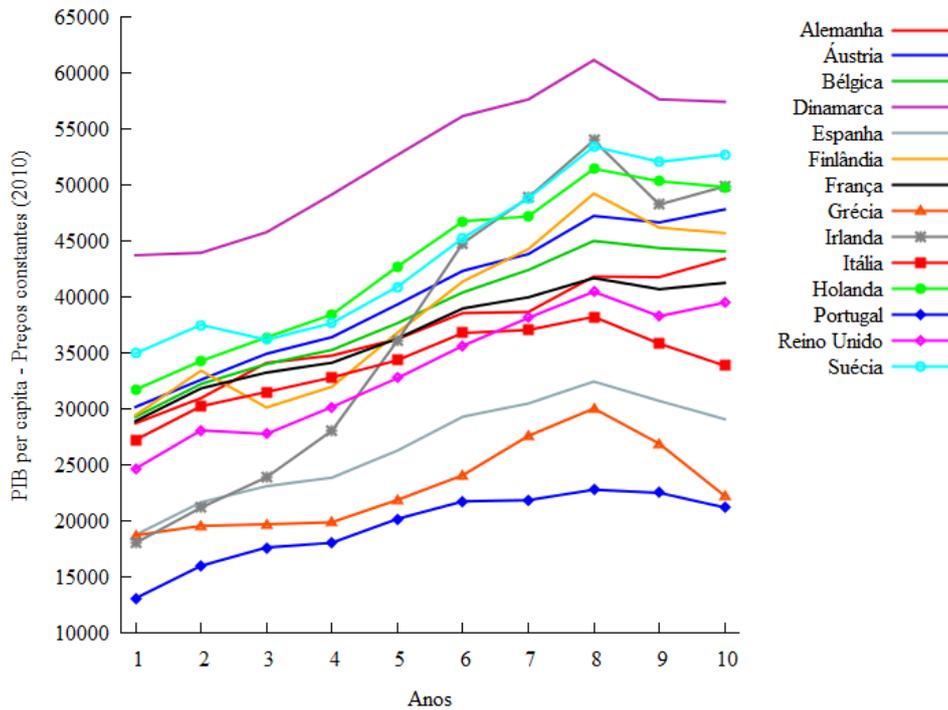
Yu S.H.; Jin J.C. (1992) “Cointegration tests of energy consumption, income and employment” *Resources Energy*. 14, 259–266.

## Anexos

**Quadro I:** Definição e fonte das variáveis

| Variáveis                             | Abreviaturas | Fonte         | Unidade                                      | Descrição   |
|---------------------------------------|--------------|---------------|--|---|
| <b>PIB per capita</b>                 | gy           | Banco Mundial | (Preços constantes de 2010, moeda nacional)  | Baseado em preços constantes de 2010 (moeda nacional). É a soma do valor acrescentado bruto na economia por todos os produtores residentes mais os impostos sobre produtos e menos quaisquer subsídios não incluídos no valor dos produtos. É calculado sem fazer deduções da depreciação de bens fabricados ou diminuição e degradação dos recursos naturais.  |
| <b>População</b>                      | txcpop       | Banco Mundial | Total da população                           | São todos os residentes, independentemente do estatuto jurídico ou cidadania (exceto para os refugiados não permanentemente instalados no país de asilo, que são geralmente considerados parte da população de seu país de origem)  |
| <b>Formação Bruta de Capital Fixo</b> | s            | Banco Mundial | (% do PIB)                                   | É composto por despesas sobre ativos fixos da economia mais variações líquidas no nível de inventários. Os ativos fixos incluem melhoramento nos terrenos, compra de máquinas, equipamentos e instalações, e construções de estradas, ferrovias e similares, escolas, escritórios, hospitais, habitações particulares residenciais e comerciais e edifícios industriais. As aquisições líquidas de objetos de valor também são consideradas formação de capital.  |
| <b>Exportações de bens e serviços</b> |              | Banco Mundial | (% do PIB)                                   | As exportações de bens e serviços representam o valor de todos os bens e outros serviços de mercado prestados ao resto do mundo. Excluem-se as remunerações dos empregados e os rendimentos dos investimentos e os pagamentos por transferência.  |
| <b>Importações de bens e serviços</b> |              | Banco Mundial | (% do PIB)                                   | As importações de bens e serviços representam o valor de todos os bens e outros serviços de mercado recebidos ao resto do mundo. Excluem-se as remunerações dos empregados e os rendimentos dos investimentos e os pagamentos por transferência.  |
| <b>Artigos</b>                        | art          | Banco Mundial | Milhões de habitantes                        | Artigos de revistas científicas e técnicas referentes ao número de artigos científicos e de engenharia publicados nos seguintes campos: física, biologia, química, matemática, medicina clínica, pesquisa biomédica, engenharia e tecnologia e ciências da terra e do espaço.   |
| <b>Patentes</b>                       | pat          | Eurostat      | Milhões de habitantes                        | Os pedidos totais de patentes europeias referem-se a pedidos de proteção de uma invenção dirigidos diretamente ao Instituto Europeu de Patentes (EPO) ou arquivados ao abrigo do Tratado de Cooperação em matéria de Patentes e que designam a EPO (Euro-PCT) independentemente de serem ou não concedidos. Os dados mostram o número total de aplicações por país. Se uma aplicação tem mais que um inventor, a aplicação é dividida igualmente entre todos eles e subsequentemente entre os seus países de residência, evitando assim a dupla contagem. |
| <b>Consumo de energia primária</b>    | ce           | BP Database   | Milhões de toneladas de petróleo equivalente | A energia primária compreende os combustíveis comercializados incluindo as energias renováveis modernas usadas para gerar eletricidade.   |
| <b>Emissões de Dióxido de Carbono</b> | edc          | BP Database   | Milhões de toneladas de CO <sub>2</sub>      | As emissões de carbono refletem apenas aquelas provenientes do consumo de petróleo, gás e carvão para atividades relacionadas com a combustão.  |

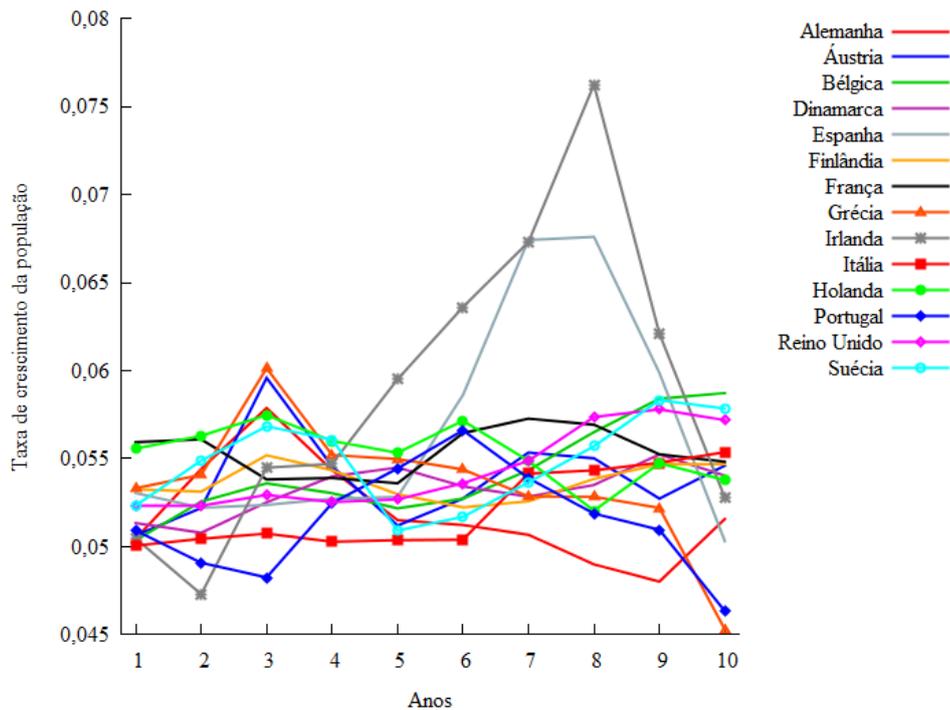
**Figura A.1:** Nível de rendimento *per capita*



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

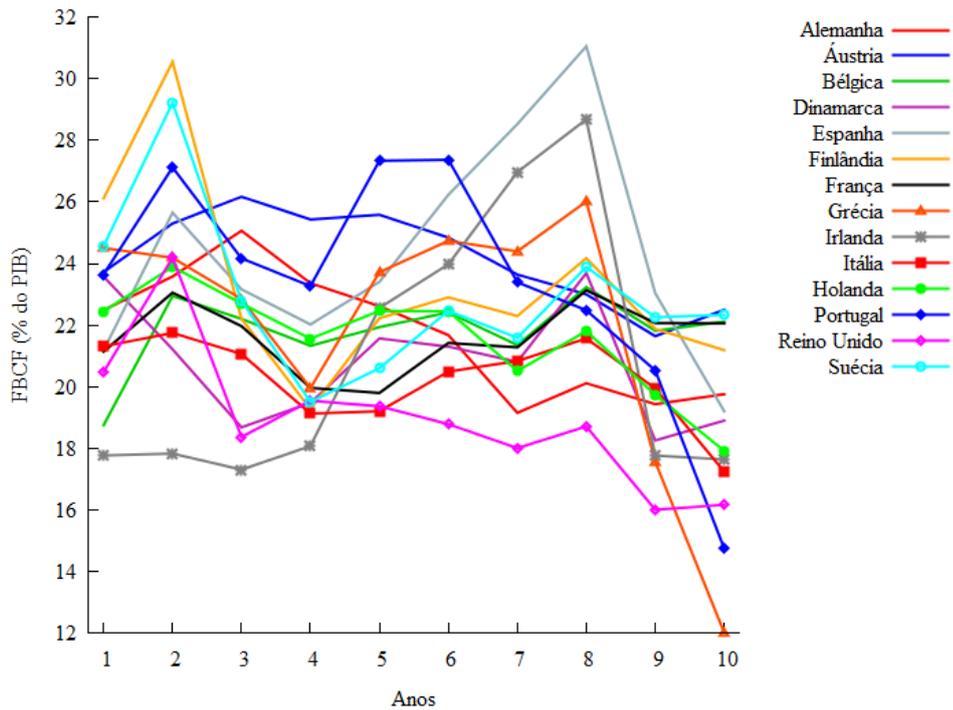
**Figura A.2:** Taxa de crescimento da população



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

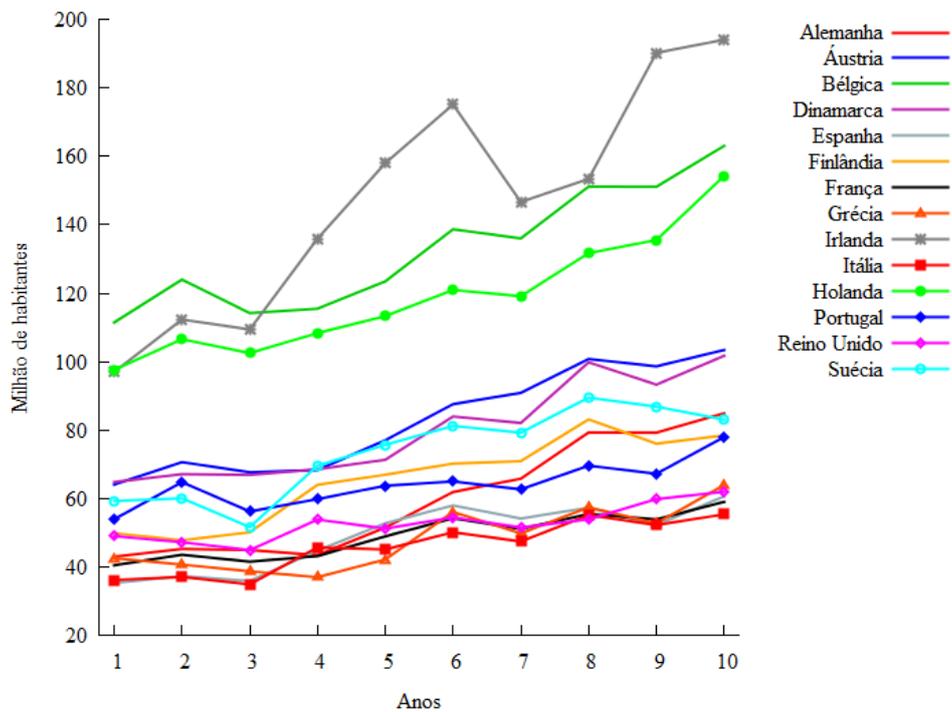
**Figura A.3: Peso capital físico no PIB**



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.

**Figura A.4: Grau de Abertura**



**Fonte:** Elaboração própria recorrendo ao programa *Gretl*.

**Nota:** Fazendo a correspondência dos respetivos anos: 1-1986; 2-1989; 3-1992; 4-1995; 5-1998; 6-2001; 7-2004; 8-2007; 9-2010; 10-2013.